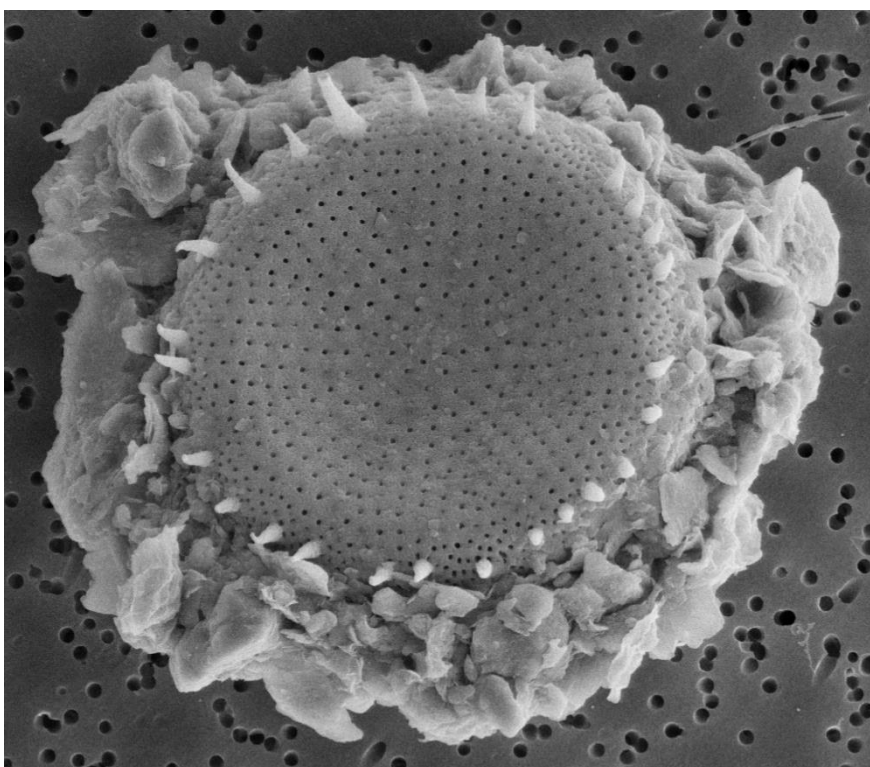


**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**DOBLE GRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y CIENCIAS AMBIENTALES**



**DISTRIBUCIÓN Y ECOLOGÍA DEL MICROPLANKTON EN EL  
ESTUARIO DEL RÍO GUADALQUIVIR  
(MAYO 2017)**

Autor

**Sara Stefanova Nikolova**

Tutores

**Carlos M. García Jiménez**

**M<sup>a</sup> José Reyes Martínez**

**Puerto Real, 11 de septiembre 2020**





## **Agradecimientos**

Agradecer al Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla, por permitirnos muestrear con ellos, y a los Servicios Centrales de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Cádiz, así como al Departamento de Biología de la UCA.

También a mis tutores, Carlos y M<sup>a</sup> José por enseñarme todo lo que sé. A Carlos, por permitirme ser tu alumna colaboradora y poder acercarme en primera persona al mundo de la investigación, por la paciencia y la confianza depositada en todo momento, incluso cuando las cosas no salían del todo bien. A M<sup>a</sup> José, por enseñarme a desenvolverme en el trabajo de campo y por ayudarme y aconsejarme siempre en tierra y a bordo.

A mis compañeros de laboratorio. En especial a Iria, por ser mi compañía todas esas largas tardes, por los numerosos consejos relativos al proyecto y a la vida en general. Y a Jairo, por la paciencia al enseñarme una y otra vez cómo usar los mismos programas y por toda su colaboración en las faenas más manuales en el laboratorio.

A mis compañeros de carrera y amigos, por todas las salidas gastronómicas en las cuales debatíamos nuestros problemas. A Sanz Fayos, simplemente por estar.

A mi familia,

a Lora.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>5</b>
3.1. Zona de estudio y toma de muestras.....	5
3.2. Análisis de variables ambientales.....	6
3.3. Análisis de la fracción microplanctónica de la comunidad.....	8
3.4. Índices de diversidad .....	12
3.5. Análisis Multivariante.....	12
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>13</b>
4.1. Variables ambientales.....	13
4.1.1. Distribución de nutrientes.....	16
4.1.2. Proporciones de pigmentos fotosintéticos .....	17
4.2. Estructura de la comunidad microplanctónica .....	18
4.2.1. Inventario taxonómico.....	18
4.2.1.1. Grupos dominantes .....	18
4.2.1.2. Inventario detallado .....	18
4.2.2. Características descriptivas de la comunidad microplanctónica.....	22
4.2.2.1. Estimación de la abundancia numérica y biomasa .....	22
4.2.2.2. Relación Clorofila – Biovolumen.....	28
4.2.2.3. Riqueza y diversidad.....	29
4.2.3. Análisis de tamaño del microplancton .....	30
4.2.3.1. Relación Superficie – Volumen (S/V).....	30
4.2.3.2. Distribución de tamaños.....	31
4.2.4. Análisis Multivariante .....	32
4.2.4.1. Ordenación de la comunidad.....	32
4.2.4.2. Análisis de porcentaje de similitud.....	32

4.3. Análisis de relaciones entre variables ambientales y biológicas.....	33
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
5.1. Ambiente lumínico en el estuario.....	39
5.2. Disponibilidad de nutrientes inorgánicos.....	40
5.3. Control de la producción primaria en el tramo estudiado.....	41
5.4. Distribución del microplancton autótrofo y heterótrofo .....	43
5.5. Distribución general de grupos taxonómicos en el gradiente estuárico .....	46
5.6. Inventario taxonómico .....	48
5.7. Distribución del microplancton en el gradiente de variables ambientales.....	52
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>Apéndice A: Fotografías de los organismos del microplancton en el Estuario del Río Guadalquivir</b>	
<b>Apéndice B: Relación superficie-volumen (S/V)</b>	
<b>Apéndice C: Representación de la comunidad microplanctónica a partir de una ordenación MDS según la abundancia por biomasa</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Volumen filtrado de agua (L), volumen concentrado (ml), volumen de extracto analizado (ml) y volumen de agua real equivalente (ml) en superficie (S) y fondo (F) en las cuatro estaciones .....	9
<i>Tabla 2.</i> Concentración de Si, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y DIN (μM) e índices en las cuatro estaciones.....	16
<i>Tabla 3.</i> Concentración de Chl- <i>a</i> , <i>b</i> y <i>c</i> y Phe- <i>a</i> (μm/l) y contribución de la Chl- <i>a</i> , <i>b</i> y <i>c</i> al total (%) y relación entre el contenido en Phe y Chl total (%).....	17
<i>Tabla 4.</i> Contribución (% de abundancia numérica) de los 6 grupos taxonómicos .....	18
<i>Tabla 5.</i> Inventario taxonómico.....	19
<i>Tabla 6.</i> Porcentaje de contribución de cada grupo taxonómico a la similitud de las estaciones en función de la abundancia mediante análisis SIMPER .....	34
<i>Tabla 7.</i> Porcentaje de contribución de cada grupo taxonómico a la similitud de las estaciones en función del biovolumen mediante análisis SIMPER.....	34
<i>Tabla 8.</i> Biomasa de microplancton, mesozooplancton y respectivo cociente .....	44



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Esquema de un estuario mezclado y parcialmente mezclado .....	2
<i>Figura 2.</i> Proceso de floculación de los sedimentos que da lugar a la ZMTE.....	2
<i>Figura 3.</i> Ubicación de la zona de muestreo y estaciones .....	6
<i>Figura 4.</i> Aproximaciones de las formas geométricas para los distintos taxones.....	10
<i>Figura 5.</i> Representación de la Temperatura (°C) en el ERG .....	13
<i>Figura 6.</i> Representación de la Salinidad (PSS) en el ERG .....	14
<i>Figura 7.</i> Representación de la Turbidez (NTU) en el ERG.....	14
<i>Figura 8.</i> Representación de la Fluorescencia ( $\mu\text{g/l}$ ) en el ERG.....	14
<i>Figura 9.</i> Representación del Porcentaje de Oxígeno Disuelto (%) en el ERG.....	15
<i>Figura 10.</i> Representación de la Concentración de Oxígeno Disuelto ( $\text{mg/l}$ ) en el ERG ...	15
<i>Figura 11.</i> Representación del pH en el ERG .....	16
<i>Figura 12.</i> Abundancia numérica ( $\text{cel./l}$ ) .....	22
<i>Figura 13.</i> Biovolumen total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) .....	23
<i>Figura 14.</i> Biovolumen total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) de St 5 .....	24
<i>Figura 15.</i> Biovolumen total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) de St 15 .....	25
<i>Figura 16.</i> Biomasa total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) St 25.....	26
<i>Figura 17.</i> Biovolumen total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) de St 35. ....	27
<i>Figura 18.</i> Relación de biomasa de autótrofos respecto a heterótrofos.....	28
<i>Figura 19.</i> Relación Clorofila/Biomasa ( $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ ).....	29
<i>Figura 20.</i> Riqueza de taxones .....	30
<i>Figura 21.</i> Índice de Shannon - Weaver .....	30
<i>Figura 22.</i> Distribución de tamaños del microplancton .....	31
<i>Figura 23.</i> Análisis de similitud al 20%, 30% y 50% en función de la abundancia .....	33
<i>Figura 24.</i> Representación de la relación de las variables ambientales y los taxones a partir de un CCA .....	35
<i>Figura 25.</i> Representación de la relación de las variables ambientales excluyendo la salinidad y los taxones a partir de un CCA .....	37
<i>Figura 26.</i> Esquema de turbidez, relación DIN/SRP, $[\text{PO}_4^{3-}]$ y $K_s$ para el $\text{PO}_4^{3-}$ de las cuatro estaciones.....	42

## **DISTRIBUCIÓN Y ECOLOGÍA DEL MICROPLANCTON**

### **RESUMEN**

Se han registrado y analizado las variables básicas ambientales y biológicas (abundancia, biomasa, relaciones biométricas y rango de tamaños) de los organismos que componen el microplancton a lo largo del gradiente de salinidad que presenta el Estuario del Río Guadalquivir (ERG). El estudio se ha realizado en una situación de primavera (mayo 2017), a través de ocho muestras en cuatro localizaciones con salinidades distintas (superficie y fondo a 5 ‰, 15 ‰, 25 ‰ y 35 ‰). En las estaciones menos saladas se observa un incremento en la turbidez, clorofila, temperatura y oxígeno disuelto, así como una disminución en la salinidad. Mediante un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) se observa que la salinidad es la variable con más peso respecto a la distribución de especies en el ERG. Mientras que, si no se tiene en cuenta la salinidad, el amonio y, en menor medida nutrientes y turbidez presentan mayor peso en la distribución de especies. En función de un análisis MDS las ocho muestras se separan en tres grupos (estuárico, de transición y costero – marino). Respecto al tamaño de los individuos que componen la comunidad fitoplanctónica, se observa un gradiente vertical y horizontal con un incremento en profundidad y con la salinidad.

En el ERG se han identificado hasta 105 taxones distintos de microplancton, 48 de los cuales se han identificado a nivel de género y 45 a nivel de especie. Merece mención especial el género recientemente descubierto, *Dartintinnus*, identificado principalmente en las aguas menos saladas en el ERG (5 ‰ y 15 ‰). Las mayores abundancias numéricas han coincidido con las estaciones de mayor diversidad, muestra de fondo en las estaciones St 5 (Lebrija) y St 35 (desembocadura), en las cuales *Thalassiosira spp.* y *Guinardia delicatula* aportan la mayor abundancia, respectivamente. Por otro lado, la especie *Noctiluca scintillans* origina que la estación marina (St 35) sea la que presente una mayor biomasa, contribuyendo este género con un 76 % y 81 % al total de la biomasa, respectivamente.

### **Palabras clave**

Estuario, Guadalquivir, fitoplancton, microplancton, gradiente de salinidad, biomasa, turbidez, relación clorofila/biomasa, CCA

## DISTRIBUTION AND ECOLOGY OF THE MICROPLANKTON

### ABSTRACT

Basic environmental and biological variables (abundance, biomass, biometric relations and size range) of the microplankton organisms along the salinity gradient in the Guadalquivir River Estuary (ERG) have been recorded and analyzed. The study was carried out in a spring situation (May 2017), through eight samples in four locations with different salinities (surface and bottom in 5 ‰, 15 ‰, 25 ‰ y 35 ‰). In the less salty stations an increase in turbidity, chlorophyll, temperature and dissolved oxygen is observed, as well as a decrease in salinity. It is also perceived, by means of a Canonical Correspondence Analysis (CCA), that salinity is the variable with the greatest weight regarding the distribution of species in the ERG. On the other hand, if the salinity is not considered, ammonia and, to a lesser extent, nutrients and turbidity have greater weight in the distribution of species. Based on an MDS analysis, the eight samples are separated into three groups (estuary, transitional and coastal – marine). Referring to the size of individuals that define the phytoplankton community, a vertical and horizontal gradient is observed with an increase in depth and with salinity.

Up to 105 different microplankton taxa have been identified in the ERG, 48 of which have been identified at the genus level and 45 at the species level. The recently discovered genus, *Dartintinnus*, mainly identified in the less salty waters in the ERG (5 ‰ and 15 ‰) deserves special mention. The highest numerical abundances have coincided with the stations with the greatest diversity, bottom sample at stations St 5 (Lebrija) and St 35 (mouth), in which *Thalassiosira* spp. and *Guinardia delicatula* provide the greatest abundance, respectively. On the other hand, the *Noctiluca scintillans* species causes that the marine station (St 35) has the highest biomass, contributing with 76% and 81% to the total biomass, respectively.

### Keywords

Estuary, Guadalquivir, phytoplankton, microplankton, salinity gradient, biomass, turbidity, chlorophyll / biomass ratio, CCA

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estuarios representan ambientes en los que los ríos se unen con los mares y son, generalmente, más productivos que otros sistemas costeros (Maynard y Biggs, 1985). Estos ambientes son ricos en nutrientes y presentan diversas entradas de carbono orgánico (por ejemplo, a partir de los aportes de los cauces fluviales), lo que favorece la productividad de éstos (Cloern, 1987). En muchos casos, esta producción primaria se ve restringida por factores como la turbidez (Joint y Pomroy, 1981), especialmente, en estuarios con concentraciones de materia particulada en suspensión mayores a 50 mg/l (Cloern, 1987). La turbidez del estuario, en gran parte, dependerá del grado de turbidez de las aguas que se unen, las cuales estarán relacionadas con la intensidad del lavado del suelo debido a las precipitaciones (Hazen, 1899). No obstante, la importancia de los estuarios radica en la materia orgánica producida en éstos y exportada a los océanos, enriqueciendo las aguas adyacentes (Karleskint *et al.*, 2006).

Existen diferentes tipos de estuarios según el grado de mezcla. Los estuarios mezclados son aquellos en los que el flujo de agua del río es menor que el de las corrientes de marea que mezclan el agua marina con la fluvial (Karleskint *et al.*, 2006). La mezcla vertical determina la distribución de la temperatura y salinidad en la columna de agua (Wolanski, 2007), de manera que, en estuarios completamente mezclados, la salinidad es uniforme en la vertical a lo largo de la columna de agua, disminuyendo en la horizontal a medida que se aleja de la desembocadura hacia el interior del río (Figura 1a). Cuando el flujo fluvial se incrementa, las isohalinas se desplazan hacia el mar (Maynard y Biggs, 1985). Por otro lado, estuarios ligeramente estratificados o parcialmente mezclados (Figura 1b) presentan el mismo patrón de salinidad, con la diferencia de que ésta también tiende a aumentar ligeramente con la profundidad (Webb, 2019).

La mezcla de los dos tipos de agua con diferente salinidad origina un desequilibrio electrolítico desencadenando el proceso de floculación (Figura 2a) de las partículas de menor tamaño (arcilla). Las partículas comienzan a atraerse unas a otras aumentando tanto el volumen como el peso de los agregados, los cuales llegan a comportarse como si fueran partículas de limo o granos de arena de mayor tamaño (French, 1997). Por otro lado, bacterias y organismos del plancton capaces de producir Partículas de Exopolímeros Transparentes (TEP) potencian el proceso de floculación formando microagregados o nieve marina (Maynard y Biggs, 1985; Wolanski *et al.*, 2013).

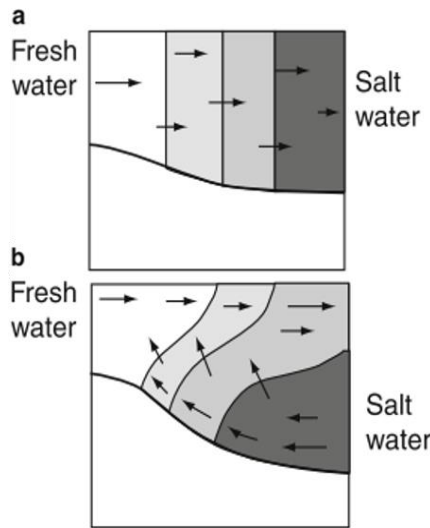


Figura 1. Esquema de un estuario (a) mezclado y (b) parcialmente mezclado. Tomado de Wolanski *et al.* (2013)

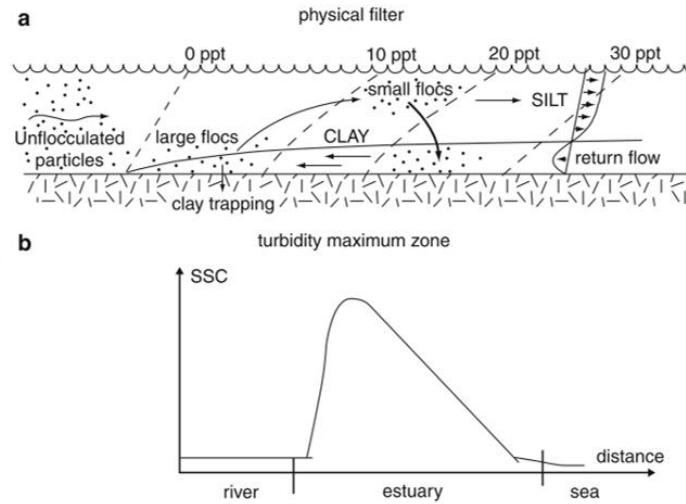


Figura 2. (a) Proceso de floculación de los sedimentos que da lugar a la (b) Zona de Máxima Turbidez Estuárica (ZMTE). Tomado de Wolanski *et al.* (2013)

Las concentraciones de TEP suelen ser mayores en las zonas superficiales ricas en plancton y varían de acuerdo con los cambios producidos en la composición de la comunidad planctónica (Passow y Alldredge, 1994). Estas partículas han sido estudiadas en las aguas marinas y costeras del Golfo de Cádiz, donde se ha observado la estrecha relación de la Clorofila (Chl-*a*) y la cantidad de TEP hasta una profundidad de 10 m, hecho debido al origen fitoplanctónico de las TEP (Prieto *et al.*, 2006). Sin embargo, la nieve marina escasea en aguas muy turbias (más de 500 mg/l total de sólidos en suspensión, TSS), mientras que en aguas de menor turbidez (menos de 100 mg/l) es más común. Estos procesos que originan la acumulación de partículas generan una Zona de Máxima Turbidez Estuárica (ZMTE) entre las aguas fluviales y las marinas (Figura 2b) (Wolanski *et al.*, 2013). Los sedimentos que entran a formar parte de la ZMTE pueden llegar desde la cuenca, la plataforma continental, la atmósfera, por la propia erosión de los márgenes y fondo del estuario o por la actividad biológica (Maynard y Biggs, 1985). En estas zonas donde las concentraciones de sedimentos son elevadas (de 200 – 5000 mg/l) la floculación es especialmente importante, ya que influye en la actividad biológica de los organismos (Maynard y Biggs, 1985). La máxima turbidez produce una disminución de la penetración de la luz, que depende tanto de la concentración de materia orgánica disuelta coloreada (CMOD), como de la concentración total de sólidos en suspensión, TSS (Wolanski, 2007).

La existencia de esta zona y/o de momentos en los que el ambiente lumínico se puede ver alterado, ha sido identificada en distintos estuarios. En el Golfo de Nicoya, Seguro *et al.*,

(2015), observaron que tanto la CDOM como la turbidez son factores importantes de atenuación de la luz que alternan su importancia según se trate de estación seca (predomina la turbidez) o lluviosa (predomina la CDOM).

Respecto al Estuario del Río Guadalquivir (ERG), se pueden localizar una o más ZMTE, las cuales no son estables en el tiempo, sino que se mueven hacia el interior o el exterior cíclicamente (Contreras y Polo, 2012). La principal ZMTE se localiza en la zona del meandro situado en El Brazo de la Torre (Caballero *et al.*, 2018). Este estuario, como otros, se caracteriza por estar condicionado por las descargas de agua dulce y la acción de las mareas (Losada *et al.*, 2017) y presenta entradas de agua dulce rica en nutrientes que, según Caballero y Navarro (2016), fertilizan las aguas del estuario en las épocas de intensas precipitaciones. Esta entrada de nutrientes también permite la fertilización de la cuenca atlántico-andaluza (Ruíz y Losada, 2010) influyendo sobre el ecosistema pelágico del Golfo de Cádiz, el mantenimiento de los recursos naturales de la cuenca y de las altas tasas de producción en la plataforma (Navarro *et al.*, 2012; Prieto *et al.*, 2009). Por tanto, el fitoplancton del ERG no parece presentar las limitaciones por nutrientes (principalmente fosfato en sistemas estuáricos, nitrito, nitrato y silicato), carbono inorgánico y, a veces, por trazas de metales (hierro) o vitaminas que, de manera general, influyen en las tasas de crecimiento y generación de producción primaria (Elser *et al.*, 2007; Huisman y Welssing, 1999; Suthers y Rissik, 2009). Sin embargo, pese a ser un estuario altamente enriquecido en nutrientes, se caracteriza por una turbidez muy elevada (Losada *et al.*, 2017), presentando frecuentemente a lo largo del año concentraciones muy altas de sedimentos en suspensión (Díez-Minguito *et al.*, 2014). La alta turbidez es la que produce una limitación de la producción primaria debido a que dificulta la penetración de la luz. Esto puede llegar a afectar a los valores de oxígeno disuelto, incluso llegando a episodios de hipoxia, sobre todo en la parte interior del estuario (Ruiz *et al.*, 2013). Los estuarios, en general, suelen presentar un gradiente de oxigenación típicamente aeróbico en toda la columna de agua, salvo en las capas profundas en las cuales los sedimentos normalmente son anaeróbicos, así como la capa límite bentónica (Day *et al.*, 2012).

Los responsables de la producción primaria en los estuarios son diversos: fitoplancton, plantas de marisma, manglares, praderas de fanerógamas y algas bentónicas (Day *et al.*, 2012). El fitoplancton en los estuarios es extremadamente importante ya que, junto con los detritus, representa la base de las redes tróficas (Karleskint *et al.*, 2006). La importancia radica en que el fitoplancton no siempre es consumido vivo como ocurre en otros sistemas,

sino que estos productores primarios mueren y comienzan a descomponerse antes de que sean consumidos formando el detritus (Day *et al.*, 2012). Parte de estos detritus son reciclados por la red trófica microbiana. De esta forma, una fracción de los nutrientes y materia orgánica e inorgánica que entra por los flujos fluviales es expulsado hacia el mar, y otra parte vuelve al sistema por la degradación de las bacterias (Karleskint *et al.*, 2006).

La mayoría de los estudios llevados a cabo en el ERG presentan un enfoque fisicoquímico, como el estudio de la dinámica mareal (Álvarez *et al.*, 2001) o la variabilidad espacial a partir de la teledetección (Navarro *et al.*, 2011). Los trabajos que incluyen datos biológicos, de la fracción fitoplanctónica de la comunidad en el ERG son muy escasos (IFAPA, 2016; Ruíz y Losada, 2010) y, a veces, se basan en el análisis de atributos de los grupos taxonómicos, como la composición en ácidos grasos (Cañavate *et al.*, 2019). Ninguno, hasta ahora, se ha dedicado en detalle de la distribución y biomasa del microplancton en su conjunto en el marco del gradiente de salinidad basándose en análisis por microscopía óptica.

Respecto a la zona exterior del río, Rivera-González y Sánchez-Castillo (2011) publicaron un inventario taxonómico de las especies de fitoplancton que abundan total o parcialmente en las aguas de la desembocadura. Sin embargo, se supone que la distribución del fitoplancton será diferente en el interior del estuario, condicionada también por corrientes y temperatura (Neves *et al.*, 2008), pero, estando influida principalmente, por el gradiente de salinidad. Así, en los estuarios aparecerían especies eurihalinas adaptadas un amplio intervalo de salinidades (Lancelot y Muylaert, 2011), mientras que especies estrictas de agua dulce desaparecerían en la ZMTE, donde el gradiente de salinidad suele ser más acusado (Muylaert y Sabbe, 1999).

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo general de este trabajo es caracterizar tanto las variables básicas del medio físico como la distribución de la comunidad microplanctónica del estuario del río Guadalquivir, analizando su composición y estimando biomasa a lo largo de un gradiente de salinidad y a dos profundidades distintas (superficie y fondo), en una situación de primavera (mayo). Para ello, se exponen los siguientes objetivos específicos:

- Describir las variables ambientales y su relación con la distribución biológica en el gradiente de salinidad.

- Identificar y mostrar un inventario taxonómico de los organismos pertenecientes al microplancton (20 – 200  $\mu\text{m}$ ) a lo largo del gradiente de salinidad.
- Caracterizar morfológicamente las especies del microplancton según aproximaciones geométricas, determinando su biovolumen y permitiendo, además, obtener algunos atributos, como la relación superficie/volumen media de las especies en cada tramo y la distribución de tamaños.
- Analizar los patrones de abundancia del microplancton a lo largo de dicho gradiente del medio físico a través de su biomasa y concentración de pigmentos fotosintéticos.
- Sintetizar y discutir las relaciones de distribución espacial basándose tanto en análisis MDS para estudiar las similitudes, como en un análisis de correspondencia canónica (CCA) para proporcionar una visión de conjunta de los patrones de distribución de los diferentes taxones de microplancton en el gradiente de variables del medio.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. Zona de estudio y toma de muestras**

El río Guadalquivir es uno de los ríos más largos de España, con una longitud total de 650 km y, cuyo estuario está localizado en el sur de la Península Ibérica. El estuario presenta una anchura de 800 m cerca de la boca y hasta los 150 m en el tramo final, con una profundidad media de 7,1 m y, se extiende hasta la presa de Alcalá del Río situada a 110 km de la boca del río. Se trata de un estuario mesomareal (3,5 m en mareas vivas) mientras que el principal periodo de marea es semidiurno (Díez-Minguito *et al.*, 2012).

La toma de muestras se realizó a bordo de una pequeña embarcación en un transecto desde la desembocadura del río Guadalquivir (St 35, Figura 3) hasta la altura de Lebrija (St 5). A lo largo de dicho transecto longitudinal se tomaron 8 muestras en 4 estaciones (St 5, St 15, St 25 y St 35) y a dos profundidades (superficie, S y fondo, F). Estas estaciones no presentaban coordenadas definidas, sino que se situaban siguiendo el gradiente de salinidad (5 ‰, 15 ‰, 25 ‰ y 35 ‰) a favor del flujo de marea.

Las muestras superficiales fueron tomadas con un cubo de 10 L de capacidad mientras que las muestras de fondo se tomaron mediante dos lances consecutivos de una misma botella Niskin de 5 L.



Todas las muestras fueron tamizadas a través de una malla de 10  $\mu\text{m}$  de luz con el objetivo inicial de concentrar en 60 ml la fracción microplanctónica correspondiente a los 10 L muestreados. Las muestras fueron conservadas en botes de topacio fijadas con formol al 4 %. En las estaciones de mayor turbidez (St 5 y St 15) se procedió a un lavado de las muestras de plancton mediante una solución salina preparada a 5 ‰ y 15 ‰ de salinidad respectivamente, para reducir las partículas de pequeño tamaño y facilitar el análisis con microscopio. También se tomaron muestras sin fijar mediante una manga con malla de 20  $\mu\text{m}$  para la visualización inmediata de la comunidad en vivo con el objeto de facilitar una identificación posterior de los organismos y hacer fotografías de los especímenes (Ver Apéndice A).

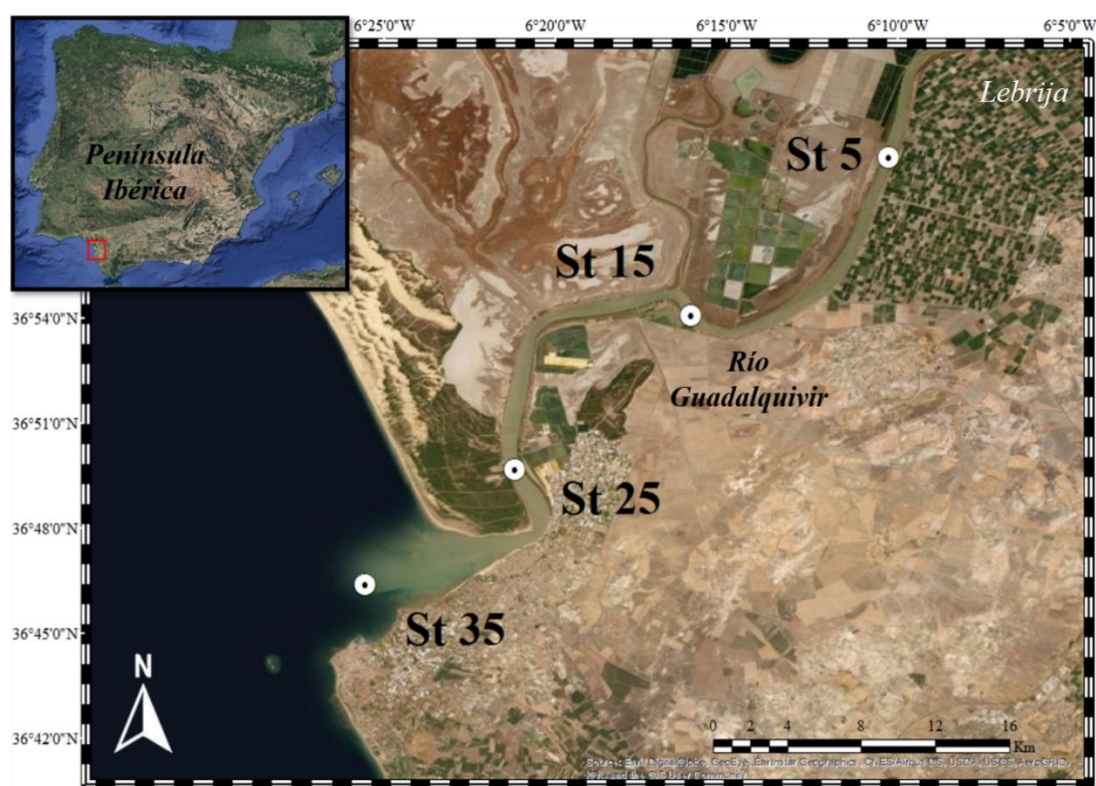


Figura 3. Ubicación de la zona de muestreo y estaciones a lo largo del gradiente de salinidad en el estuario del río Guadalquivir, sudoeste de España

### 3.2. Análisis de variables ambientales

En las cuatro estaciones de muestreo, mediante una sonda multiparamétrica modelo Eureka Manta 2, se midió la variación de temperatura, salinidad, turbidez, concentración de oxígeno, fluorescencia de clorofila, pH y conductividad de toda la columna de agua. Por otro lado, a partir de muestras discretas de agua, se analizaron clorofila (Chl), total de sólidos en suspensión (TSS), materia orgánica (MO), materia inorgánica (MI) y nitrógeno inorgánico disuelto, DIN ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) Si, y fósforo reactivo soluble, SRP ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) a

una profundidad intermedia (3 – 4 m) en las cuatro estaciones. Se determinan, a su vez, los índices DIN/SRP (de las fracciones reactivas solubles de los nutrientes), Si/DIN y Si/SRP. Además, para las estaciones St 5 y St 25 se tomaron muestras para medidas de Chl en superficie y en fondo. Debido a ciertos inconvenientes, los datos proporcionados para los nutrientes corresponden al mes de mayo del año siguiente (2018) tomados a una profundidad intermedia en las cuatro salinidades. Se asume que en el año del muestreo las concentraciones son próximas a las proporcionadas del año siguiente, ya que, como indican ciertos autores, las concentraciones de nutrientes se mantienen relativamente constantes y elevadas en la columna de agua, evitando que sean limitantes para la producción primaria (Cañavate *et al.*, 2015; González-Ortegón y Drake, 2012; Navarro *et al.*, 2012; Ruíz y Losada, 2010; Ruiz *et al.*, 2013).

Para la determinación de pigmentos por espectrofotometría, se filtró 1 L de agua para cada estación, salvo para la muestra St 5F, muy turbia, en la que se filtraron 870 ml, con filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/F  $\approx 0,7 \mu\text{m}$ ). Para la determinación de la Chl-*a* se empleó la ecuación de Talling y Driver (1963) dirigida a extractos en 90 % de acetona (Ecuación 1), mientras que para la determinación de las fracciones Chl-*b* y Chl-*c* se emplearon las ecuaciones de Clesceri *et al.* (1998) (Ecuación 2, Ecuación 3). En estos métodos, a la lectura de las absorbancias a 664, 647, 630 y 665 nm se le resta una lectura de base a 750 nm para su corrección.

$$\text{Chl } a \text{ } (\mu\text{g/l}) = 11,9 \cdot A_{664a} \cdot \frac{V_{extr}}{V_{muestra}} \cdot 1000 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Chl } b \text{ } (\mu\text{g/l}) = (21,03 \cdot A_{647a} - 5,43 \cdot A_{664a} - 2,63 \cdot A_{630a}) \cdot \frac{V_{extr}}{V_{muestra}} \cdot 1000 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Chl } c \text{ } (\mu\text{g/l}) = (24,52 \cdot A_{630a} - 7,60 \cdot A_{647a} - 1,67 \cdot A_{664a}) \cdot \frac{V_{extr}}{V_{muestra}} \cdot 1000 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde *A*, es la absorbancia a la longitud de onda determinada (nm); *V<sub>extr</sub>*, es el volumen de extracto (ml) y; *V<sub>muestra</sub>*, es el volumen de muestra filtrado (L).

La Ecuación 4 muestra la ecuación de Lorenzen (1967) mediante la cual se determina la Feofitina-*a* (Phe-*a*).

$$\text{Phe } a \text{ } (\mu\text{g/l}) = (26,7 * 1,7 * A_{665a} \cdot A_{665d}) \cdot \frac{V_{extr}}{V_{muestra}} \cdot 1000 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde  $A_{665a}$  corresponde a la lectura de la absorbancia a 665 nm antes de la acidificación del extracto con HCl y  $A_{665d}$  corresponde a la lectura de la absorbancia a 665 nm después de dicha acidificación.

Con estos valores de concentración de pigmentos se han determinado diversos índices, como contribución de cada Chl ( $a, b, c$ ) respecto a la Chl total, relación Phe/Chl<sub>tot</sub> y relación de la Chl- $a$  con el biovolumen total y de autótrofos de cada estación.

Para la determinación de TSS, MO y MI se filtraron 250 ml de agua, utilizando filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/F,  $\approx 0,7 \mu$ ) previamente pesados tras ser combustionados en horno Mufla (500 °C, 4 horas). Tras el filtrado, los filtros fueron secados en estufa (60 °C, 24 horas) y vueltos a pesar, obteniéndose la cantidad de TSS por diferencia. El contenido de MO y MI se obtuvo tras la combustión de estos, considerándose MI el peso del residuo de cenizas y deduciéndose MO como la fracción combustionada. Los nutrientes disueltos en el agua fueron analizados a partir del agua filtrada para la obtención de TSS. Las muestras fueron congeladas a -20 °C y, posteriormente, analizadas en los servicios centrales del INMAR (UCA), utilizando un autoanalizador SKALAR SAN<sup>plus</sup>.

Los perfiles de los datos ambientales procedentes de la sonda multiparamétrica se representaron mediante el software Ocean Data View (ODV) a través de la cuadrícula DIVA.

### **3.3. Análisis de la fracción microplanctónica de la comunidad**

Los métodos asociados a la microscopía óptica son los más empleados y precisos para el estudio del microplancton (Hillebrand *et al.*, 1999), pese a ello, su precisión y errores están asociados al número de células contadas y al método del cálculo del biovolumen (Hobro y Willén, 1977). El análisis de la composición del microfitoplancton se realizó siguiendo el método de Utermöhl (1958). Para ello, se ha empleado un microscopio óptico invertido modelo Nikon Eclipse Ti con cámara incorporada Nikon Digital Sight DS-Fil y cámaras de sedimentación *ad hoc*. La medida del tamaño de los individuos se realizó mediante el software NisElements, mientras que el proceso de imagen para fotografía en apilamiento en capas se realizó con el software CombineZP y Adobe Photoshop CS6. La Tabla 1 muestra el volumen de agua total filtrada ( $V_{\text{filtrado}}$ , L), concentrado ( $V_{\text{conc.}}$ , ml), de extracto analizado ( $V_{\text{ex. anal.}}$ , ml) y equivalente real ( $V_{\text{real eq.}}$ , ml) para cada estación y profundidad. Debido al alto grado de turbidez y densidad de individuos concentrados, del volumen de extracto analizado (2,973 ml) en St 35F se analizó una fracción del volumen total (28 %).

Por otro lado, la mitad de las muestras (St 5S, St 5F, St 15F y St 25F) tuvieron que ser diluidas debido a que la turbidez impedía un análisis óptico adecuado. Las muestras St 15F y St 25F, además, fueron observadas en 3 placas de 1 ml de muestra cada una debido a dicha turbidez.

Un total de 16 591 células pertenecientes a las ocho estaciones fueron contadas y, simultáneamente, medidas. Para evitar errores en el recuento y medida se siguieron las recomendaciones de (Hobro y Willén, 1977). Se registraron valores del eje mayor (a) y eje menor (b) en  $\mu\text{m}$  para estimar el biovolumen individual ( $\mu\text{m}^3$ ), la relación superficie/volumen (S/V) y construir el espectro de tamaños en función de la biomasa normalizada. Para calcular el biovolumen de cada organismo, se asoció una forma geométrica básica para cada género siguiendo las propuestas por Sun y Liu (2003) (Figura 4). La dimensión “c”, en la mayoría de los casos no es posible medirla utilizando el microscopio. Así, en células de pequeño tamaño se asumió que  $b = c$  (Olenina *et al.*, 2006), mientras que para células mayores se determinó a partir de la base de datos «*Nordic microalgae and aquatic protozoa*» (<http://nordicmicroalgae.org/>).

Tabla 1. Volumen filtrado de agua (L), volumen concentrado (ml), volumen de extracto analizado (ml) y volumen de agua real equivalente (ml) en superficie (S) y fondo (F) en las cuatro estaciones

		V <sub>filtrado</sub> (L)	V <sub>conc.</sub> (ml)	V <sub>ex.anal.</sub> (ml)	V <sub>real eq.</sub> (ml)
St 5	S	10	70	1	143
	F	10	80	0,5	63
St 15	S	10	70	2,973	425
	F	10	70	3	429
St 25	S	10	80	2,973	372
	F	10	90	3	333
St 35	S	10	67	2,973	444
	F	10	90	2,973	330

Mediante los valores de Chl y Biovolumen total se han determinado la relación de Chl/B ( $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ ) cuya representación se realiza en función del logaritmo en base 10 para las cuatro estaciones a ambas profundidades (St 5, St 15, St 25 y St 35). También se representan dichas relaciones eliminando la biomasa aportada por el heterótrofo *Noctiluca scintillans* (especie que aporta la mayor parte de la biomasa) en las estaciones St 25\* y St 35\*, así como la relación en función de la biomasa aportada por los organismos autótrofos del microplancton (St 5a, St 15a, St 25a y St 35a).

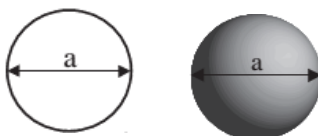
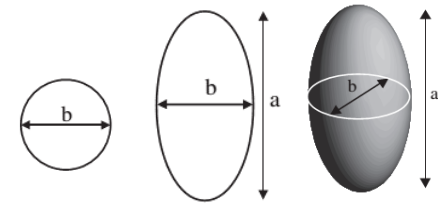
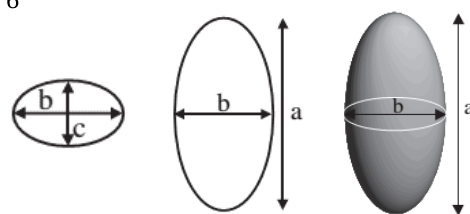
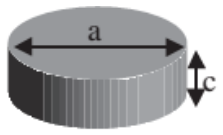
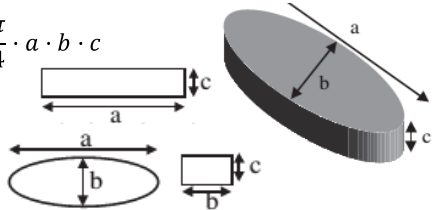
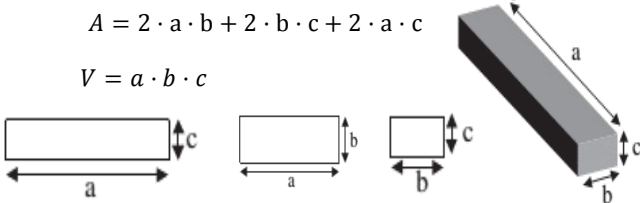
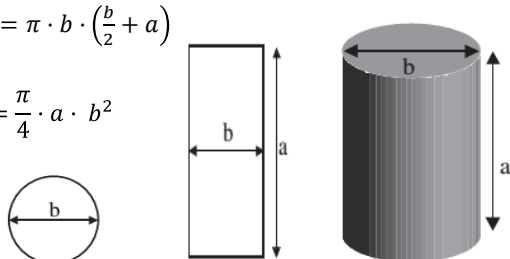
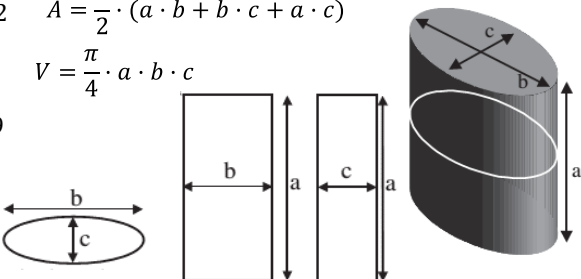
FORMA GEOMÉTRICA	CATEGORÍA TAXONÓMICA	VALOR "c"	SUPERFICIE (A) y VOLUMEN (V)	
1. Esfera	<i>Dictyocha</i>	-	$A = \pi \cdot a^2$	
	<i>Noctiluca</i>	-	$V = \frac{\pi}{6} \cdot a^3$	
2. Esferoide	<i>Gonyaulax</i>	-	$A = \frac{\pi \cdot b}{2} \cdot \left( b + \frac{a^2}{\sqrt{(a^2 - b^2)}} \cdot \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)}}{a} \right) \right)$	
	<i>Bacillariophyceae</i>	-	$V = \frac{\pi}{6} \cdot a \cdot b^2$	
	<i>Dinophyceae</i>	-		
	<i>Foraminifera</i>	-		
	<i>Tintinnida</i>	-		
3. Elipse	<i>Ceratium longipes</i>	$c = \frac{2}{3} \cdot b$	$A \approx \frac{\pi}{4} \cdot (b + c) \cdot \left[ \left( \frac{b+c}{2} \right) + \frac{2a^2}{\sqrt{(4a^2 - (b+c)^2)}} \cdot \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{(4a^2 - (b+c)^2)}}{2a} \right) \right]$ $V = \frac{\pi}{6} \cdot a \cdot b \cdot c$	
	<i>Cylindrotheca</i>	$c = b$		
	<i>Gymnodinium</i>	$c = 0,5523a - 1,254$ $R^2 = 0,9988$		
	<i>Gyrosigma</i>	$c = b$		
	<i>Nitzschia</i>	$c = b$		
	<i>Phacus</i>	$c = b$		
	<i>Pleurosigma</i>	$c = b$		
	<i>Prorocentrum</i>	$c = X_{ab}$		
	<i>Protoperidinium</i>	$c = b$		
	<i>Pseudonitzschia</i>	$c = 0,0516a + 0,3393$ $R^2 = 0,6125$		
4. Cilindro	<i>Actinoptychus</i>	$c = \frac{X_{ab}}{2}$	$A = \pi \cdot a \cdot \left( \frac{a}{2} + c \right)$ $V = \frac{\pi}{4} \cdot a^2 \cdot c$	
	<i>Asteromphalus</i>	$c = \frac{X_{ab}}{2}$		
	<i>Auliscus</i>	$c = \frac{2}{5} \cdot X_{ab}$		
	<i>Ceratium furca</i>	$c = b$		
	<i>Coscinodiscus</i>	$c = 0,7065a + 1,9565$ $R^2 = 0,574$		
	<i>Ditylum</i>	$c = b$		
	<i>Planktoniella</i>	$c = b$		
	<i>Paralia</i>	$c = b$		
	<i>Thalassiosira</i>	$c = 0,266a + 5,534$ $R^2 = 0,8164$		
	<i>Amoeba</i>	$c = b$ $a = b$		

Figura 4. Aproximaciones de las formas geométricas para las distintas categorías taxonómicas con las correspondientes ecuaciones de superficie (A) y volumen (V). El valor «c» indica la aproximación del tercer eje (en caso de aproximarse mediante recursos bibliográficos se indica la ecuación y respectivo  $R^2$ ). En caso de determinarse a partir del valor medio del eje  $a$  y  $b$  se indica con el símbolo « $X_{ab}$ ». Modificado de Sun y Liu (2003)

FORMA GEOMÉTRICA	CATEGORÍA TAXONÓMICA	VALOR "c"	SUPERFICIE (A) y VOLUMEN (V)
5. Prisma en base elíptica	<i>Navicula</i>	$c = 0,6345b + 2,6034$ $R^2 = 0,9696$	$V = \frac{\pi}{4} \cdot a \cdot b \cdot c$ 
	<i>Pediastrum</i>	$c = b$	
	<i>Surirella</i>	$c = 0,5255a + 0,6749$ $R^2 = 0,9977$	
6. Rectángulo	<i>Asterionella</i>	$c = b$	$A = 2 \cdot a \cdot b + 2 \cdot b \cdot c + 2 \cdot a \cdot c$ $V = a \cdot b \cdot c$ 
	<i>Asterionellopsis</i>	$c = b$	
	<i>Hantzschia</i>	$c = b$	
	<i>Thalassionema</i>	$c = b$	
7. Cilindro frontal	<i>Bacteriastrum</i>	-	$A = \pi \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + a\right)$ $V = \frac{\pi}{4} \cdot a \cdot b^2$ 
	<i>Cerataulina</i>	-	
	<i>Cerataulus</i>	-	
	<i>Dactyliosolen</i>	-	
	<i>Detonula</i>	-	
	<i>Guinardia</i>	-	
	<i>Lauderia</i>	-	
	<i>Leptocylindrus</i>	-	
	<i>Melosira</i>	-	
	<i>Proboscia</i>	-	
	<i>Rhizosolenia</i>	-	
8. Prisma frontal en base elíptica	<i>Chaetoceros</i>	$c = 0,5677b + 1,3422$ $R^2 = 0,9797$	$A = \frac{\pi}{2} \cdot (a \cdot b + b \cdot c + a \cdot c)$ $V = \frac{\pi}{4} \cdot a \cdot b \cdot c$ 
	<i>Biddulphia</i>	$c = b$	
	<i>Eucampia</i>	$c = 0,6329b - 5,6849$ $R^2 = 0,8786$	
	<i>Odontella</i>	$c = b$	

Continuación de la Figura 4. Aproximaciones de las formas geométricas para las distintas categorías taxonómicas con las correspondientes ecuaciones de superficie (A) y volumen (V). El valor «c» indica la aproximación del tercer eje (en caso de aproximarse mediante recursos bibliográficos se indica la ecuación y respectivo  $R^2$ ). En caso de determinarse a partir del valor medio del eje a y b se indica con el símbolo « $X_{ab}$ ». Modificado a partir de Sun y Liu (2003)

Adicionalmente, con el objetivo de identificar mejor y fotografiar determinados organismos seleccionados, se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM). Para ello, se aislaron manualmente los especímenes deseados, mediante micropipetas (los de mayor tamaño) o

mediante microcapilares (los de menor tamaño), disponiéndose después sobre filtros de policarbonato. Las muestras se secaron con silica gel en desecadores al vacío y se fotografiaron en el Microscopio de Barrido Nova NanoSEM 450 de los Servicios Centrales de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Cádiz.

### 3.4. Índices de diversidad

Para cada una de las 8 estaciones se determinó la densidad total (n, número total de individuos), la riqueza de especies (S, número total de categorías taxonómicas distintas), y el índice de diversidad de Shannon – Weaver ( $H'$ , 1964) (Ecuación 5).

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \cdot \log_2 p_i) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde  $p_i$ , es la abundancia proporcional de la  $i$ ésima especie.

Se emplearon las aplicaciones de software PRIMER V6 y Sigmaplot V11 para el cálculo de estos índices, y su representación gráfica, respectivamente.

### 3.5. Análisis Multivariante

Para representar las proximidades existentes entre las distintas estaciones y profundidades según la similitud se utilizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (n-MDS), a partir de una matriz de similitud generada mediante la aplicación del índice de similitud de Bray-Curtis a los datos de la abundancia numérica y de la abundancia por biomasa, previamente transformados a raíz cuarta. Para cuantificar la veracidad de la ordenación se empleó el coeficiente de estrés de Kruskal, considerando que valores inferiores a 0,05 indican una buena ordenación.

Para determinar los taxones responsables de los agrupamientos observados en la representación de la estructura de la comunidad (taxones tipificadores), se empleó un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER). Para este último análisis, debido a la falta de réplicas, se caracterizaron únicamente las cuatro estaciones de muestreo en función de la salinidad sin distinciones de la profundidad.

Por último, para determinar posibles relaciones entre la comunidad microplanctónica y las variables ambientales medidas, se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA), utilizando el software CANOCO 5.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Variables ambientales

La temperatura del agua osciló entre unos 24 °C y 20 °C y muestra un descenso gradual desde la estación más interna (St 5) hasta la St 25, siendo el descenso en la estación más cercana a la desembocadura (St 35) más acusado (Figura 5).

La salinidad, como era esperado, presenta un aumento gradual desde la estación más interna del río (St 5, 5 ‰) hasta la más externa (St 35, 35 ‰). Además, destaca la falta de variabilidad vertical en todas las estaciones, debido a la tendencia a la mezcla habitual, posiblemente incrementada por los vientos continuos sobre la zona de estudio los días previos al muestreo (Figura 6).

La turbidez presenta valores máximos en las estaciones más interiores y aguas transparentes en la estación St 35 (siendo mínima en superficie) y en la estación St 25, a partir de donde comienza a aumentar rápidamente hasta la ZMTE, claramente localizada en la capa profunda de St 5, donde se alcanzan valores de 1800 NTU (Figura 7).

La fluorescencia debida a la clorofila (Figura 8) presenta un patrón bimodal. Los valores máximos se sitúan en la capa subsuperficial, alrededor de los 6 m de profundidad en la boca del río (St 35), con 6 µg/l y a 7 m en la estación más dulce cerca de Lebrija (St 5) con un valor de 8,4 µg/l, que es el máximo registrado en todo el tramo del estuario estudiado y coincidente con el máximo de turbidez. El valor mínimo de todo el muestreo se observa en la superficie (primer metro de profundidad) en la desembocadura, St 35 (2 µg/l). Por otro lado, en la estación St 25 se observa una disminución de la fluorescencia en toda la columna (4 µg/l) general, que va incrementándose gradualmente hacia St 15 con cerca de 5,2 µg/l.

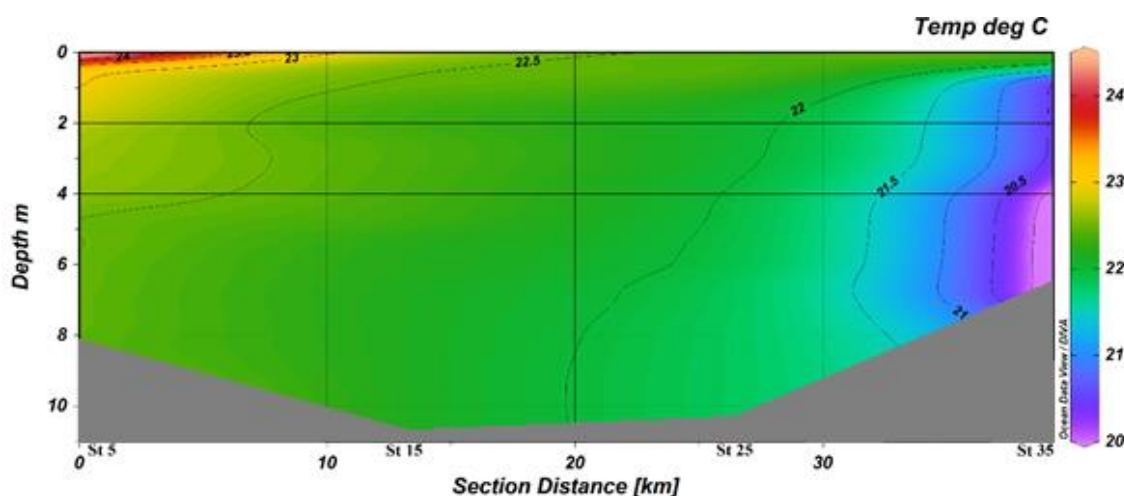


Figura 5. Representación de la Temperatura (°C) en el transecto longitudinal y vertical en el ERG



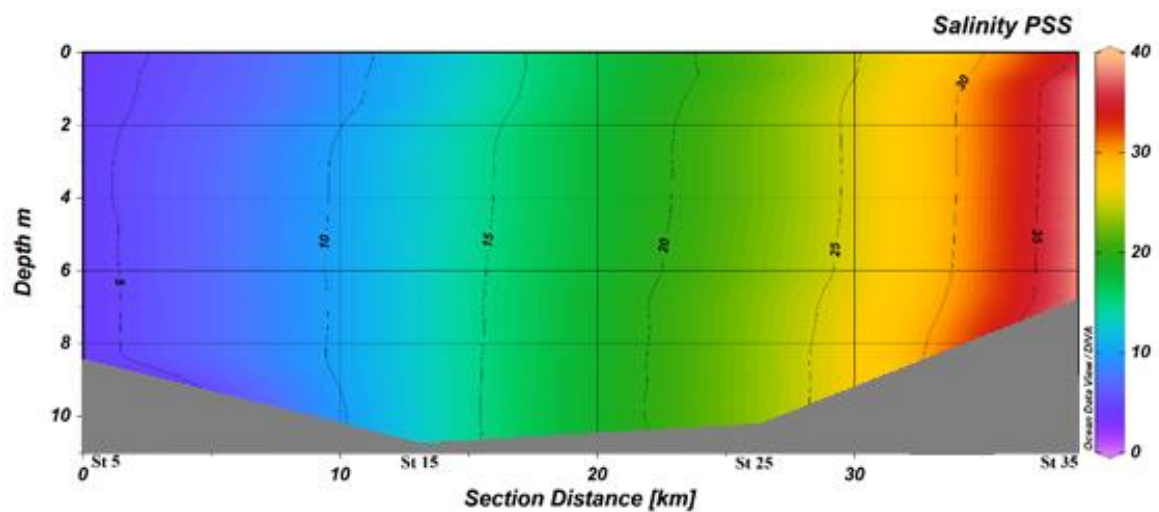


Figura 6. Representación de la Salinidad (PSS) en el transecto longitudinal y vertical en el ERG

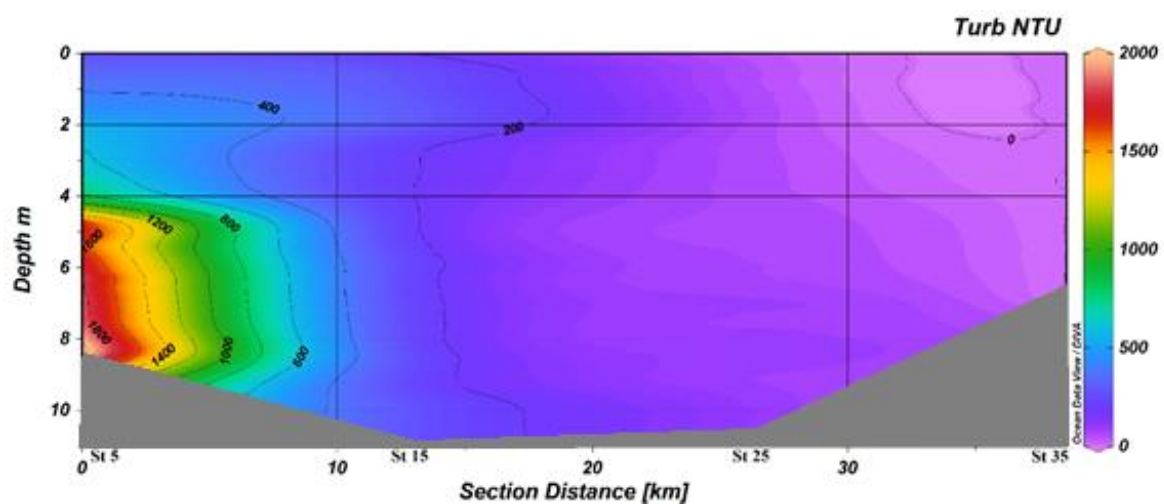


Figura 7. Representación de la Turbidez (NTU) en el transecto longitudinal y vertical en el ERG

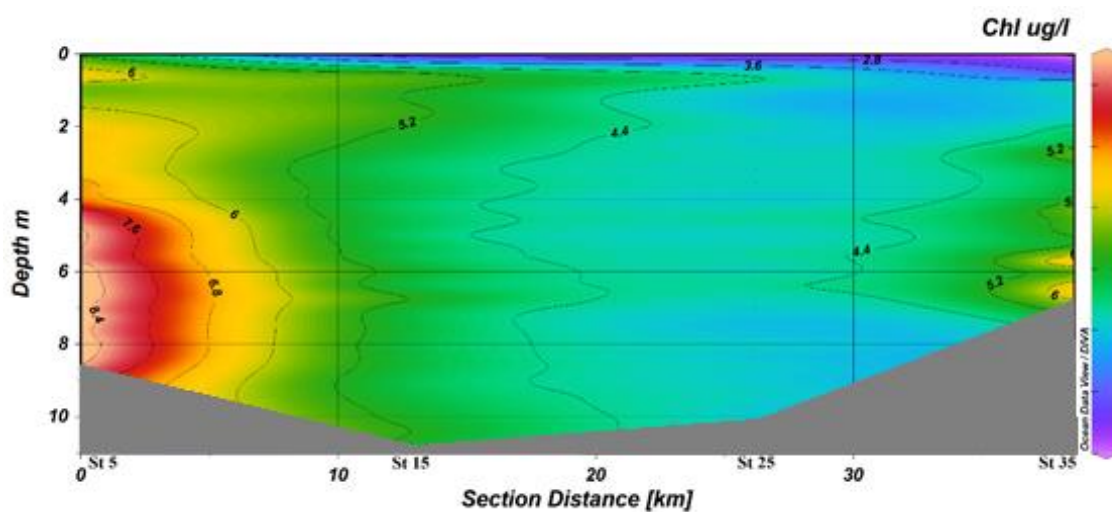


Figura 8. Representación de la Fluorescencia ( $\mu\text{g/l}$ ) en el transecto longitudinal y vertical en el ERG

El porcentaje de saturación de oxígeno presenta valores relativamente altos, una ligera subsaturación, durante todo el gradiente de salinidad (Figura 9). Los valores mayores de porcentaje de saturación de oxígeno (95 – 98 %) se observaron en superficie, especialmente en la estación más marina (St 35) a 1 m, en la que alcanzó un 99 %. El valor mínimo se registró en la estación St 5 a 8 m de profundidad (< 90 %). Por otro lado, si la concentración de oxígeno disuelto se presenta en términos absolutos, esta se explica no solo por procesos biológicos sino por la distribución de salinidad y temperatura. Así, se observa una disminución del oxígeno disuelto (7 mg/l) hacia la boca del río (Figura 10) y una concentración elevada en la superficie de la estación St 5 con 7,9 mg/l.

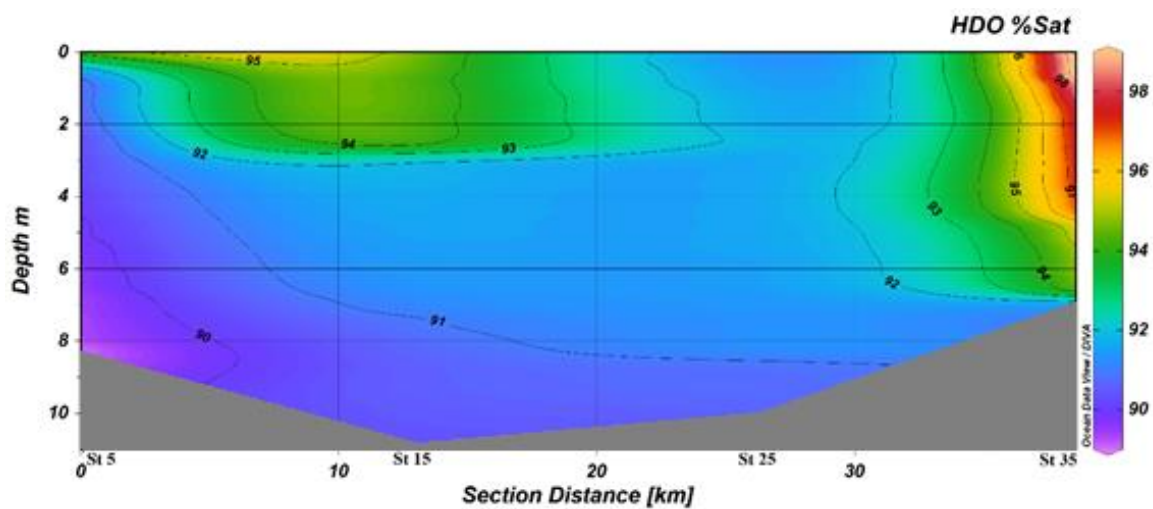


Figura 9. Representación del Porcentaje de Oxígeno Disuelto (%) en el transecto longitudinal y vertical en el ERG

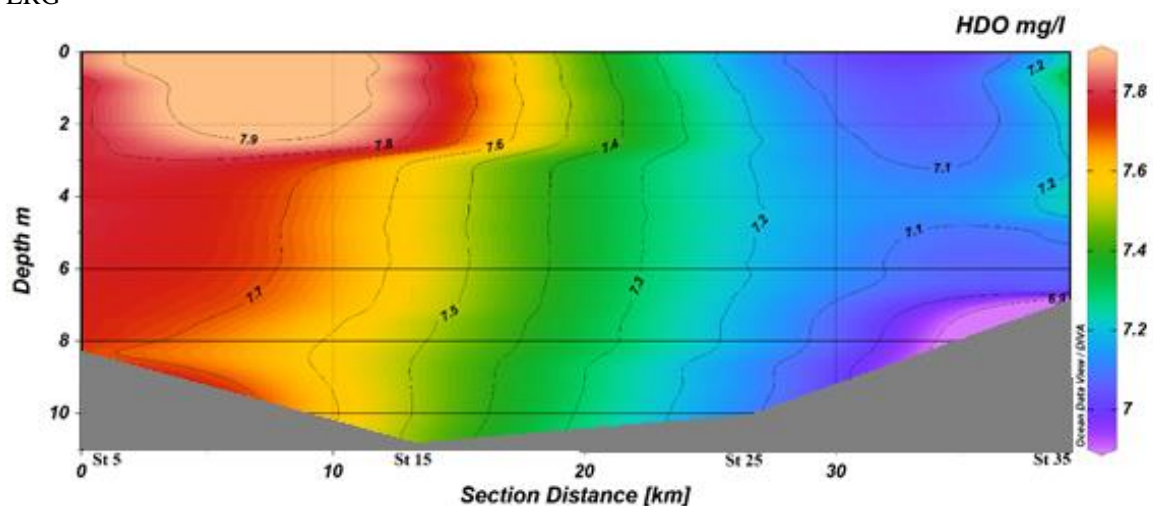


Figura 10. Representación de la Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/l) en el transecto longitudinal y vertical en el ERG

No existe una gran variación en el pH a lo largo del transecto (Figura 11). Se observa una ligera disminución gradual del pH con un máximo de 8,15 en la estación St 5 y un mínimo de 7,98 en la capa profunda de St 25.

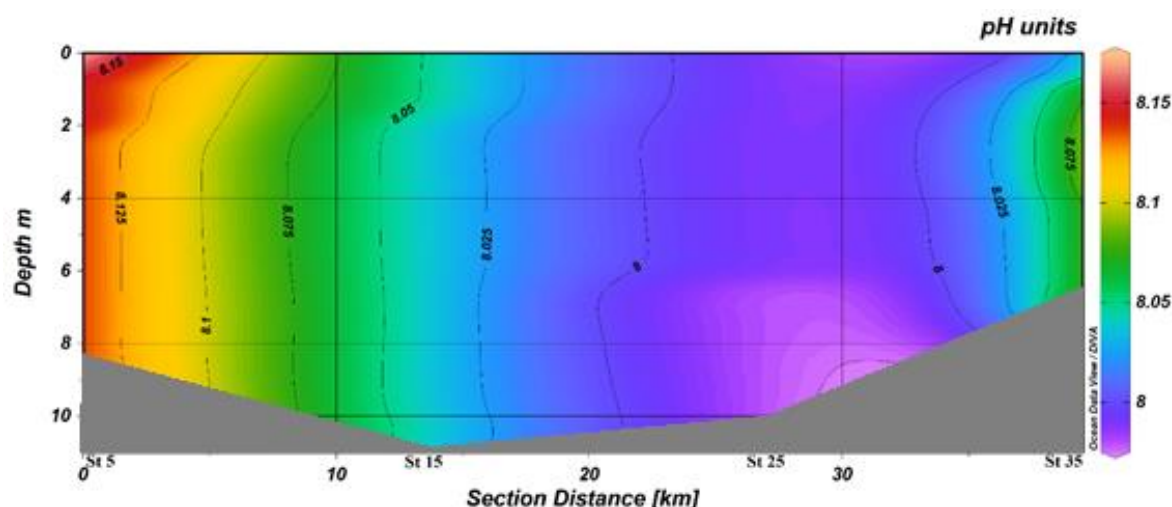


Figura 11. Representación del pH en el transecto longitudinal y vertical en el ERG

#### 4.1.1. Distribución de nutrientes

Se ha determinado la concentración de los nutrientes en  $\mu\text{M}$  ( $\text{Si}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) a una profundidad intermedia en cada estación (3 – 4 m). Así como el índice DIN/SRP considerando DIN el total de  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y SRP la cantidad de  $\text{PO}_4^{3-}$ , la relación Si/SRP y Si/DIN (Tabla 2).

Se observa una disminución de DIN a lo largo del gradiente de salinidad una concentración máxima en St 5 (198  $\mu\text{M}$ ) y mínima en la desembocadura, St 35 (2  $\mu\text{M}$ ). Tanto Si como  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{NO}_3^-$ , sufren un considerable descenso con un aumento de la salinidad. Mientras que  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^+$  presentan concentraciones máximas en St 15, estación desde la cual estas concentraciones descienden con un aumento en la salinidad. No obstante, los valores mínimos se alcanzan en la estación menos salada, St 5.

Por otro lado, el índice DIN/ SRP se mantiene muy alto a lo largo del gradiente, así como la relación Si/SRP, en comparación con la relación Si/DIN.

Tabla 2. Concentración de Si,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y DIN ( $\mu\text{M}$ ) e índices en las cuatro estaciones

	Si ( $\mu\text{M}$ )	$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{M}$ )	$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{M}$ )	$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{M}$ )	$\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{M}$ )	DIN ( $\mu\text{M}$ )	DIN/SRP	Si/SRP	Si/DIN
St 5	63,27	1,90	0,06	198,22	0,18	198	104	33	0,32
St 15	54,35	1,92	0,49	134,39	4,01	139	72	28	0,39
St 25	35,92	0,82	0,26	55,43	3,30	59	72	44	0,61
St 35	0,57	0,03	0,10	0,98	0,95	2	68	19	0,28

#### 4.1.2. Proporciones de pigmentos fotosintéticos

Se ha determinado la proporción de la Chl-*a*, *b* y *c* respecto a la Chl total, así como la relación de la Feofitina (Phe) frente a la Chl total a dos profundidades en St 5 y St 25, superficie (S) y fondo (F). Mientras que en St 15 y St 25 únicamente a una profundidad media de 3 – 4 m (Tabla 3).

La Chl-*a* que, como es lógico, se encuentra presente a lo largo de todo el gradiente, presenta un máximo en St 15 (82 %) y una proporción mínima en St 35 (34 %). La Chl-*b* únicamente está presente de forma medible en la capa superficial de la estación más interna, St 5, con un mínimo del 5 %, así como en ambas profundidades de St 25, en cuyo fondo se encuentra su máximo (30 %). Especies pertenecientes al género *Pediastrum* o *Phacus*, presentes en todas las estaciones (salvo en la capa profunda de St 35) presentan Chl-*b* en sus pigmentos. Estos géneros presentan biovolúmenes bajos en todas las estaciones en las que se localizan ( $< 10 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ ), incluso donde la Chl-*b* es máxima (St 25F).

Tabla 3. Concentración de Chl-*a*, *b* y *c* y Phe-*a* ( $\mu\text{m/l}$ ) y contribución de la Chl-*a*, *b* y *c* al total (%) y relación entre el contenido en Phe y Chl total (%) en superficie (S) y fondo (F) de las estaciones St 5 y St 15, y a profundidad media en St 15 y St 35

		Chl- <i>a</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	Chl- <i>b</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	Chl- <i>c</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	Phe- <i>a</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	Chl- <i>a</i> (%)	Chl- <i>b</i> (%)	Chl- <i>c</i> (%)	Phe/Chl <sub>tot</sub> (%)
St 5	S	3,998	0,320	2,058	1,089	63	5	32	17
	F	16,086	0	7,434	8,765	68	0	32	37
St 15		1,523	0	0,328	0	82	0	18	0
St 25	S	1,714	0,606	1,898	0,726	41	14	45	17
	F	2,285	1,670	1,527	2,179	42	30	28	40
St 35		0,190	0	0,366	0	34	0	66	0

La Chl-*c* se encuentra también presente a lo largo de todo el transecto con un mínimo en St 15 (18 %) y un máximo en la desembocadura del río (St 35, 66 %). Por último, la Phe se encuentra presente únicamente en St 5 y St 25, cuya aportación en las muestras de fondo respecto a la Chl total se duplica respecto a las de superficie (40 %). En todas las estaciones en las que coincide Phe con Chl-*b*, esta presenta una contribución menor que la Phe al contenido de pigmentos totales.

## 4.2. Estructura de la comunidad microplanctónica

### 4.2.1. Inventario taxonómico

#### 4.2.1.1. Grupos dominantes

En las estaciones St 5, St 25 y St 35 las Diatomeas (*Bacillariophyceae*) son el grupo taxonómico más abundante (Tabla 4), superando el 80 % en St 5 y St 35. Mientras los Ciliados Oligotricos es el grupo dominante en la estación St 15, presentando más de un 50 %, seguido de cerca por las Diatomeas (40 %). Los Silicoflagelados (*Dictyochophyceae*) presentan una abundancia baja en todas las estaciones (< 1 %). Los Rizópodos (*Rhizopoda*) presentan una abundancia total menor al 2 % en todas las estaciones exceptuando la más salada, St 35, donde no se encuentran presentes. Los Euglenófitos (*Euglenoidea*) sólo fueron identificados en St 15 (0,03 %).

Tabla 4. Contribución (% de abundancia numérica) de los 6 grupos taxonómicos identificados en las 4 estaciones

CLASE	St 5	St 15	St 25	St 35
<i>Bacillariophyceae</i>	81,25	29,97	53,28	89,85
<i>Chlorophyceae</i> + <i>Euglenoidea</i>	7,30	10,28	3,56	0,08
<i>Dinophyceae</i>	0,15	6,25	18,23	6,69
<i>Dictyochophyceae</i>	0,08	0,19	0,39	0,76
<i>Oligotrichea</i>	9,53	52,06	22,74	2,62
<i>Rhizopoda</i>	1,69	1,25	1,80	-

#### 4.2.1.2. Inventario detallado

Más allá de los seis grandes grupos, el inventario de taxones de microplancton observados en el ERG (Tabla 5) se muestra separándolos por el gradiente de salinidad y por profundidades. Se han descrito 105 taxones distintos, pertenecientes a 48 géneros. Mientras que 45 de los taxones se han descrito a nivel de especie. No se han podido identificar en detalle 12 taxones distintos.

Si atendemos a géneros y grupos, diatomeas como *Thalassiosira spp.* o *Pleurosigma sp.* se observaron en las todas las estaciones estudiadas, tanto en superficie como en el fondo del río. A lo largo de todas las estaciones se ha observado la presencia de *Pediastrum spp.* (Clorofitas) con un mayor número de especies en las estaciones de menor salinidad (St 5 y St 15). Por el contrario, se observa una mayor diversidad de dinoflagelados (Dinofitos) en las estaciones de mayor salinidad (St 25 y St 35). Los Ciliados siguen una distribución similar a las Clorofitas, ya que se encuentran presentes a lo largo de todas las estaciones, con una mayor diversidad en las estaciones de menor salinidad, St 5 y St 15, en especial en esta última. En este grupo hay que destacar la importante presencia de múltiples especies

(y/o formas) del género *Tintinnopsis* que aparece como característico del estuario. Los Rizópodos no se detectaron en la estación St 35 y los dos tipos de Foraminíferos identificados siguen el mismo patrón en las tres estaciones restantes (presencia superficial y profunda de *Globigerina sp.*, mientras que para *Textularia sp.* únicamente en fondo).

Tabla 5. Inventario taxonómico de superficie (S) y fondo (F) de las cuatro estaciones

CLASIFICACIÓN	St 5		St 15		St 25		St 35	
	S	F	S	F	S	F	S	F
<b>DIATOMEAS</b>								
<b>Céntricas</b>								
<i>Actinoptychus sp.</i> , Ehrenberg (1843)				+			+	
<i>Asteromphalus sp.</i> , Ehrenberg (1844)		+		+		+		
<i>Auliscus sp.</i> , Ehrenberg (1843)			+	+		+		
<i>Bacteriastrum sp.</i> , Shadbolt (1854)							+	+
<i>Biddulphia sp.</i> , Gray S. F. (1821)		+	+	+		+		
<i>Cerataulus smithii</i> , Ralfs (1861)	+	+	+	+	+	+		+
<i>Chaetoceros danicus</i> , Cleve (1889)							+	+
<i>Chaetoceros cf. decipiens</i> , Cleve (1873)							+	
<i>Chaetoceros sp.</i> , Ehrenberg (1844)					+	+		
<i>Chaetoceros</i> subgénero <i>Hyalochaete</i> , Ehrenberg (1844)							+	+
<i>Chaetoceros</i> subgénero <i>Phaeoceros</i> , Ehrenberg (1844)							+	+
<i>Coscinodiscus jonesianus</i> , Ostensfeld (1915)		+	+	+		+	+	
<i>Coscinodiscus sp.</i> , Ehrenberg (1839)							+	
<i>Coscinodiscus wailesii</i> , Gran y Angst (1931)								+
<i>Dactyliosolen blavyanus</i> , (Peragallo H.) Hasle (1975)							+	+
<i>Dactyliosolen sp.</i> , Castracane (1886)								+
<i>Ditylum brightwellii</i> , Bailey L. W. (1861)							+	
<i>Eucampia sp.</i> , Ehrenberg (1839)							+	+
<i>Eucampia zodiacus</i> , Ehrenberg (1839)								+
<i>Guinardia cf. flaccida</i> , (Castracane) H. Peragallo (1892)								+
<i>Guinardia delicatula</i> , (Cleve) Hasle (1997)			+		+	+	+	+
<i>Guinardia striata</i> , (Stolterfoth) Hasle (1996)							+	+
<i>Hemiaulus hauckii</i> , Grunow ex Van Heurck (1882)								+
<i>Leptocylindrus minimus</i> , Gran (1915)							+	
<i>Melosira sp.</i> , Agardh C. (1824)							+	
<i>Trieres mobiliensis</i> , (Bailey) Grunow (1884)				+				
<i>Trieres chinensis</i> , (Greville) Grunow (1884)							+	+
<i>Paralia sulcata</i> , (Ehrenberg) Cleve (1873)							+	
<i>Planktoniella sp.</i> , Schütt F. (1892)		+						
<i>Proboscia alata</i> , (Brightwell) Sundström (1986)							+	+
<i>Thalassiosira spp.</i> , Cleve (1873)	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Thalassiosira sp. 1</i> , Cleve (1873)							+	+

CLASIFICACIÓN	St 5		St 15		St 25		St 35	
	S	F	S	F	S	F	S	F
“Diatomea Céntrica 1”						+		
“Diatomea céntrica 2”		+		+		+		
“Diatomea céntrica 3”			+					
“Otras diatomeas céntricas”	+	+	+	+	+		+	+
<b>Pennadas</b>								
<i>Cylindrotheca sp. 1</i> , Rabenhorst (1859)			+	+			+	+
<i>Cylindrotheca sp. 2</i> , Rabenhorst (1859)							+	
<i>Navicula spp.</i> , Bory (1822)		+	+	+	+		+	+
<i>Navicula sp. 1</i> , Bory (1822)			+	+				
<i>Navicula sp. 2</i> , Bory (1822)			+					
<i>Nitzschia spp.</i> , Hassall (1845)			+			+		+
<i>Nitzschia sp. 1</i> , Hassall (1845)					+			
<i>Nitzschia sp. 2</i> , Hassall (1845)					+			
<i>Pleurosigma fasciola</i> , (Ehrenberg) Smith W. (1852)					+		+	
<i>Pleurosigma sp.</i> , Smith W. (1852)	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudo-nitzschia spp.</i> , Peragallo H. (1900)			+		+		+	+
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> , Peragallo H. (1989)								+
<i>Surirella sp.</i> , Turpin (1828)	+	+	+	+	+	+		
<i>Thalassionema nitzschioides</i> , (Grunow) Mereschkowsky (1902)						+	+	+
“Diatomea pennada 1”		+		+			+	+
“Diatomea pennada 2”				+				
<b>CLOROFITAS</b>								
<i>Pediastrum boryanum</i> , (Turpin) Meneghini (1840)	+	+	+					
<i>Pediastrum duplex</i> , Meyen (1829)				+				
<i>Pediastrum simplex</i> , Meyen (1829)	+	+	+	+	+	+		
<i>Pediastrum simplex var. Sturmii</i> , (Reinsch) Wolle (1887)							+	
<b>EUGLENOFITOS</b>								
<i>Phacus salina</i> , (Fritsch) Linton E. W. y Karnkowska-Ishikawa A. (2010)			+					
<b>DINOFITOS</b>								
<i>Gonyaulax cf. spinifera</i> , (Claparède y Lachmann) Diesing (1866)							+	+
<i>Gonyaulax sp.</i> , Diesing (1866)							+	
<i>Gymnodinium sp.</i> , Stein F. (1878)			+		+	+	+	+
<i>Noctiluca scintillans</i> , (Macartney) Kofoid y Swezy (1921)						+	+	+
<i>Prorocentrum cordatum</i> , (Ostenfeld) Dodge J. D. (1976)	+		+	+	+	+		
<i>Protoperidinium divergens</i> , (Ehrenberg) Balech (1974)							+	
<i>Protoperidinium sp.</i> , Bergh (1881)					+		+	+
<i>Pyrocystis spp.</i> , Wyville-Thompson (1876)								+

CLASIFICACIÓN	St 5		St 15		St 25		St 35	
	S	F	S	F	S	S	F	S
<i>Triplos furca</i> , (Ehrenberg) Claparède y Lachmann (1859)				+			+	
<i>Triplos longipes</i> , (Bailey) Gran (1902)							+	
“Dinoflagelado 1”			+					
“Dinoflagelado 2”			+					
“Otros Dinoflagelados			+	+			+	+
<b>DICTYOCOFICEAS (SILICOFLAGELADOS)</b>								
<i>Dictyocha fibula</i> , Ehrenberg (1839)	+	+	+	+	+		+	
<i>Dictyocha octonaria</i> , Ehrenberg (1844)			+		+		+	+
<i>Dictyocha speculum</i> , Ehrenberg (1839)			+			+	+	+
<b>CILIADOS</b>								
<b>Tintinidos</b>								
<i>Codonellopsis</i> spp., Jörgensen (1924)		+	+	+				
<i>Codonellopsis</i> sp. 1, Jörgensen (1924)			+					
<i>Dartintinnus</i> sp., Smith S. (2018)	+	+	+	+		+		
<i>Poroecus</i> sp., Cleve (1902)							+	
<i>Stenosemella</i> sp. 1, Jörgensen (1924)			+					
<i>Stenosemella</i> sp. 2, Jörgensen (1924)	+	+	+	+		+		
<i>Tintinnidae</i> sp., Claparède y Lachmann (1858)					+	+	+	+
<i>Tintinnopsis baltica</i> , Brandt (1896)	+	+	+	+		+		
<i>Tintinnopsis campanula</i> , Ehrenberg (1840)		+				+		
<i>Tintinnopsis coronata</i> , Kofoid y Campbell (1929)			+					
<i>Tintinnopsis levigata</i> , Kofoid y Campbell (1929)		+	+	+		+		
<i>Tintinnopsis lobiancoi</i> , Daday (1887)		+	+				+	
<i>Tintinnopsis nana</i> , Lohmann (1908)	+	+		+		+		
<i>Tintinnopsis parvula</i> , Jörgensen (1912)	+		+	+		+		
<i>Tintinnopsis radix</i> , desconocido							+	+
<i>Tintinnopsis rotundata</i> , Kofoid y Campbell (1929)		+				+		
<i>Tintinnopsis</i> sp. 1, Stein (1867)				+				
<i>Tintinnopsis</i> sp. 2, Stein (1867)				+				
<i>Tintinnopsis</i> sp. 3, Stein (1867)				+				
<i>Tintinnopsis</i> sp. 4, Stein (1867)			+		+	+		
<i>Tintinnopsis</i> sp. 5, Stein (1867)					+			
<i>Tintinnopsis</i> sp. 6, Stein (1867)						+		
<i>Tintinnopsis</i> sp. 7, Stein (1867)						+		
<i>Tintinnopsis</i> spp., Stein (1867)	+	+		+			+	+
<i>Nolaclusilis</i> cf. <i>bicornis</i> , Snyder y Brownlee (1991)	+		+	+		+		
<b>Otros ciliados</b>								
<i>Strombidium</i> sp., Claparède y Lachmann (1859)							+	
“Ciliado”							+	



CLASIFICACIÓN	St 5		St 15		St 25		St 35	
	S	F	S	F	S	F	S	F
<b>RIZÓPODOS</b>								
<b>Amebas tecadas</b>								
<i>Messemvriella cf. filosa</i> , Golemansky (1973)		+	+	+			+	
“Ameba tecada 1”				+				
“Ameba tecada 2”				+				
<b>Foraminíferos</b>								
<i>Globigerina sp.</i> , d’Orbigny (1826)		+	+	+	+	+		
<i>Textularia sp.</i> , DeFrance (1824)			+			+		

#### 4.2.2. Características descriptivas de la comunidad microplanctónica

##### 4.2.2.1. Estimación de la abundancia numérica y biomasa

La mayor concentración de individuos se observa en la capa profunda de St 15 y St 35 (Figura 12) con máximos de 36 708 y 41 430 células totales/l. Las mayores abundancias numéricas para ambas estaciones en profundidad las aportan el género *Thalassiosira spp.* con 27 888 cel./l para St 5 y 19 163 cel./l de *Guinardia delicatula* para la estación St 35.

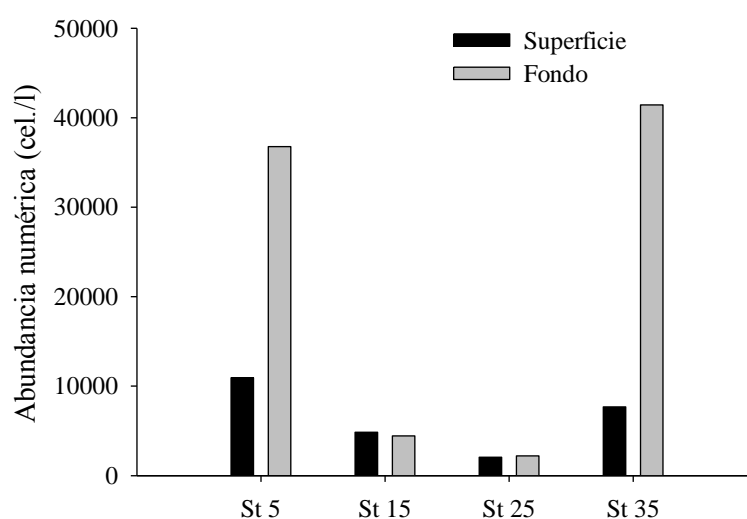


Figura 12. Abundancia numérica (cel./l) para la estación de superficie y fondo de las cuatro estaciones

El 76 % de la biomasa total de las ocho estaciones es aportada por el dinoflagelado de gran tamaño *Noctiluca scintillans*, seguido de *Trieres chinensis*, *Dartintinnus sp.*, *Coscinodiscus wailesii* y las *Thalassiosira spp.*, con contribuciones respectivas del 13 %, 1,33 %, 1,24 % y 1 %. Si no se tuviese en cuenta la biomasa aportada por *N. scintillans*, estos porcentajes pasarían a ser 54 %, 5,6 %, 5,2 % y 4,4 % respectivamente.

La Figura 13 muestra el biovolumen total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) para cada una de las estaciones analizadas. En el caso particular de la estación St 35, se muestra tanto el biovolumen total

(St 35) como el biovolumen total sin tener en cuenta la contribución de la especie *N. scintillans* (St 35\*). En ambos casos, en la estación St 35 se observa un gran valor de la biomasa en comparación con el resto de las estaciones, donde no se superan los 1000  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ . La aportación de la biomasa de *N. scintillans* en superficie y fondo de St 35 es de 76 % y de 81 %, respectivamente (comparación entre St 35 y St 35\*). Por ello, se estudia la diferencia entre esta estación y el resto. En concreto, la biomasa media de St 35 es 31, 58 y 151 veces mayor que la biomasa media en St 5, St 15 y St 25 respectivamente. Estas proporciones se reducen a 6, 11 y 30 veces mayor si no se tiene en cuenta la biomasa aportada por *N. scintillans*, respectivamente. Por otro lado, comparando la biomasa de las estaciones estuáricas (St 5, St 15 y St 25) frente a la marina (St 35), la biomasa media en esta última es 53 veces mayor que la obtenida en la zona estuárica teniendo en cuenta la aportación de *N. scintillans*, pero sólo 10 veces mayor en el caso de no tenerla en cuenta. En las Figuras 14, 15, 16 y 17 se muestra el biovolumen ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) que aporta cada uno de los taxones detallados para cada estación (St 5, St 15, St 25 y St 35 respectivamente). La categoría “Otros”, en las estaciones con mayor diversidad, engloba la de muchos taxones que aportan poca biomasa, e indica la biomasa acumulada de éstos.

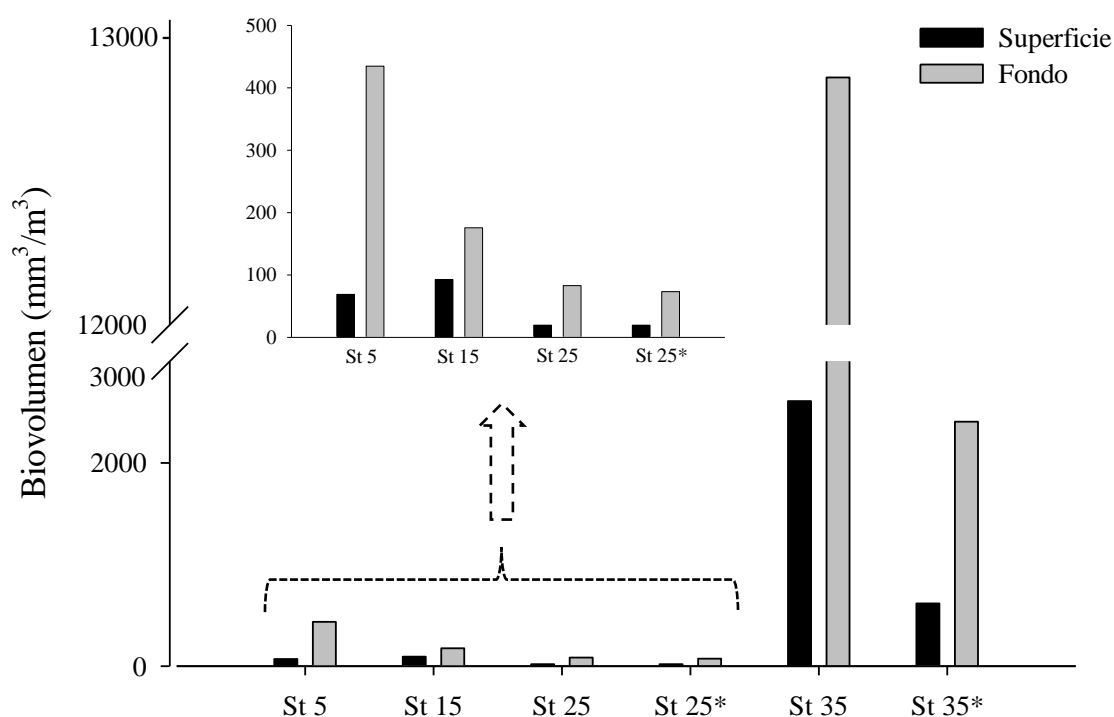


Figura 13. Biovolumen total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) para superficie y fondo en las cuatro estaciones. Las estaciones marcadas con un asterisco (\*) se componen de la biomasa exceptuando la aportada por *Noctiluca scintillans*. Las estaciones St 5, St 15, St 25 y St 25\* se muestran en mayor detalle para facilitar su interpretación.

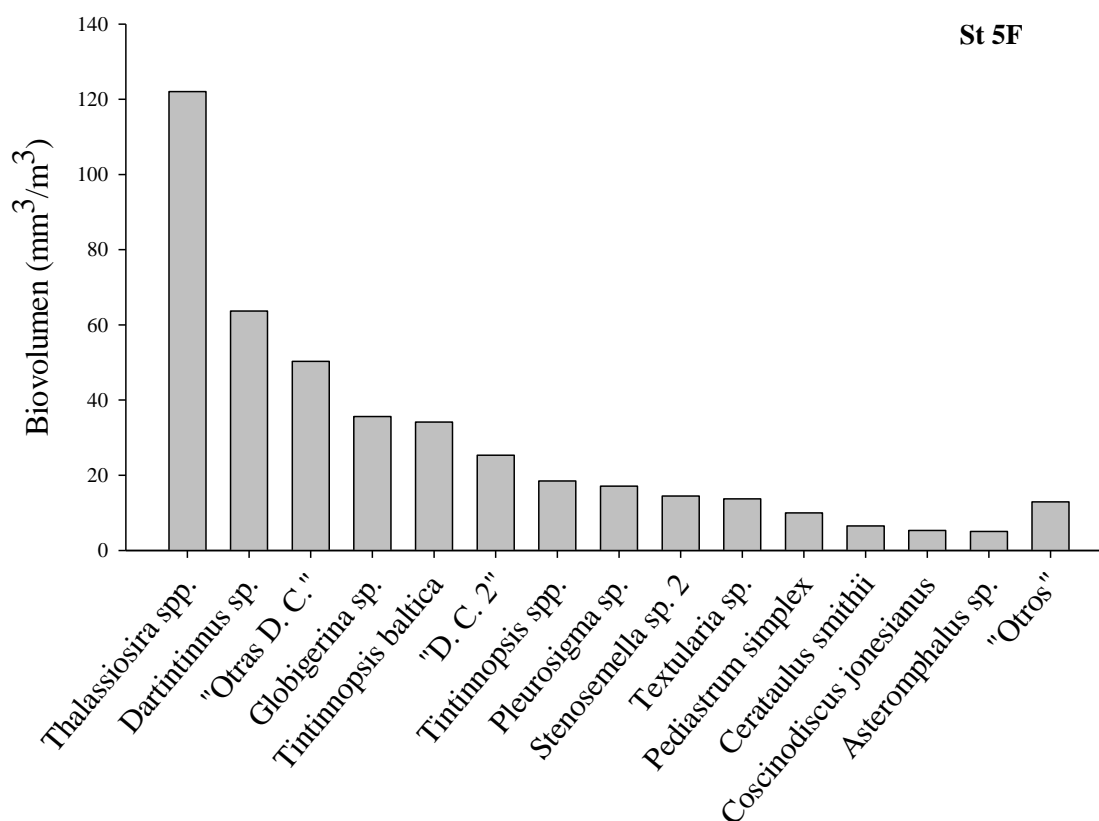
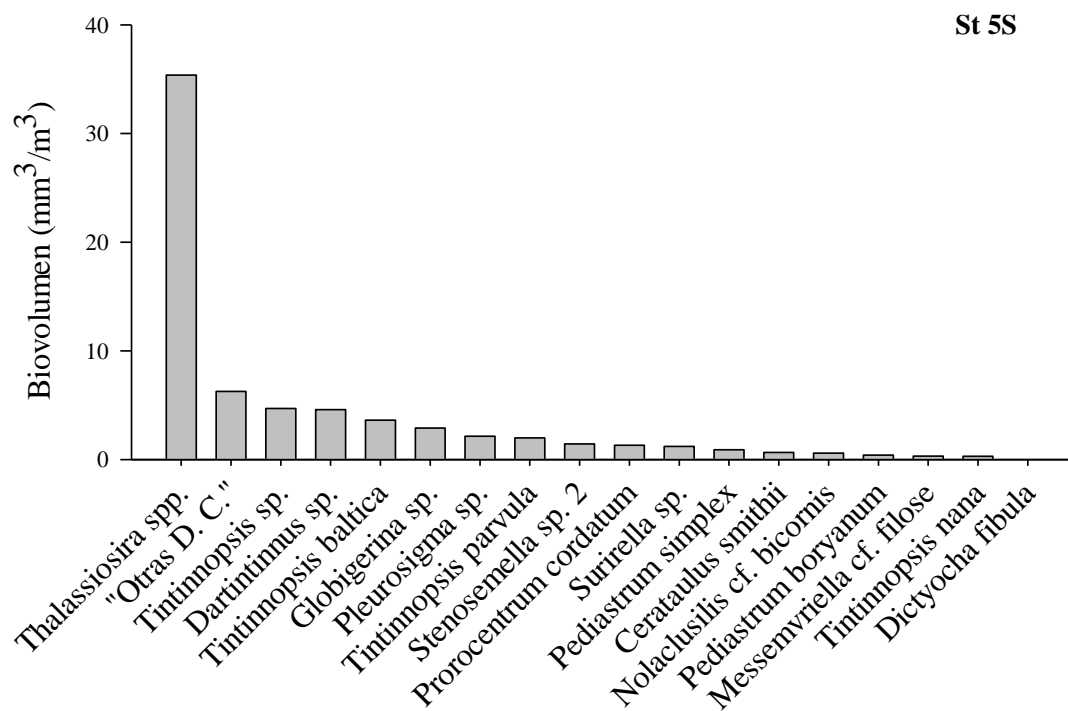


Figura 14. Biovolumen total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) de cada uno de los principales taxones identificados en superficie (S) y fondo (F) de St 5. Abreviaturas: D. C. (Diatomea Céntrica)

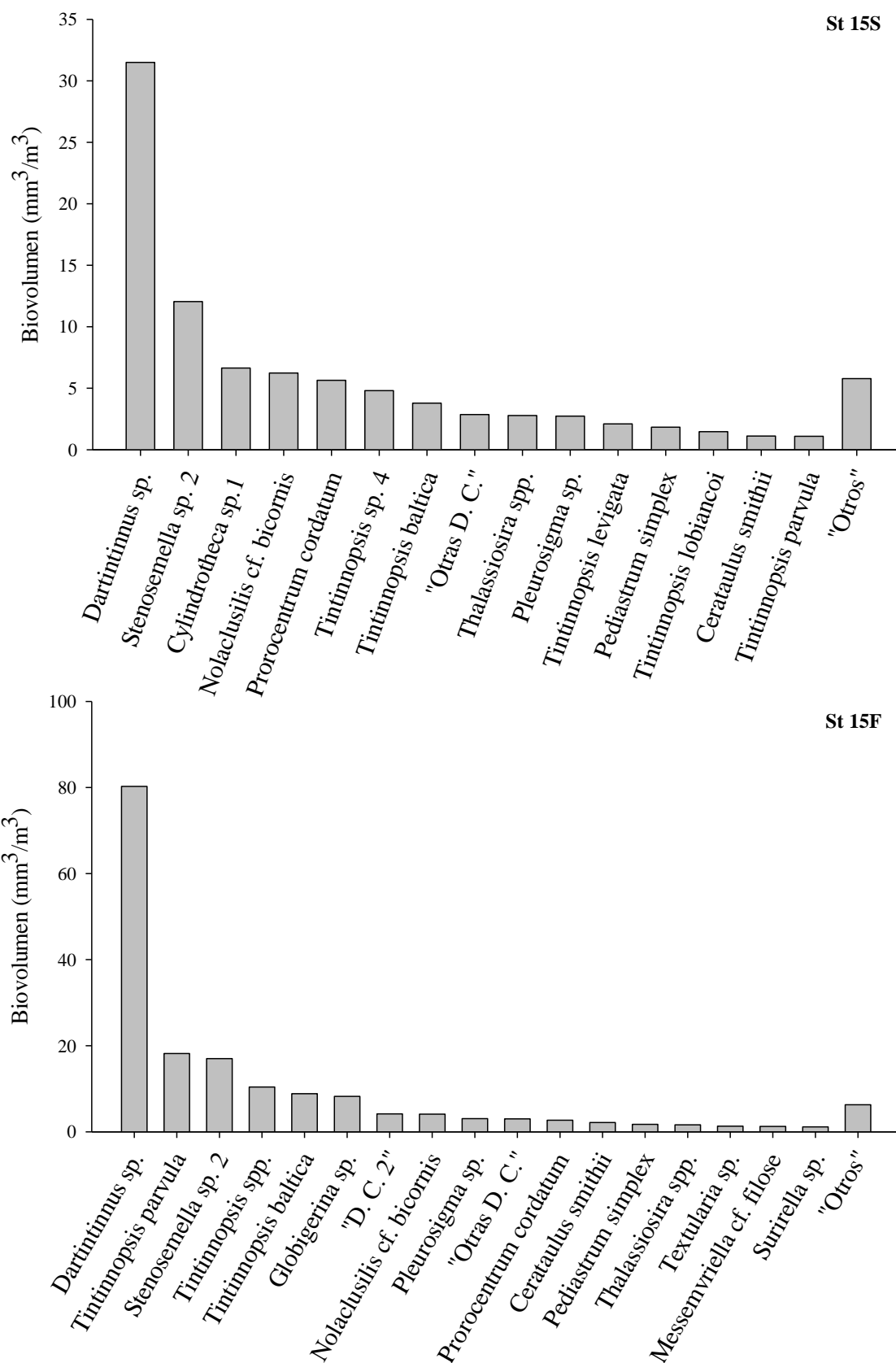
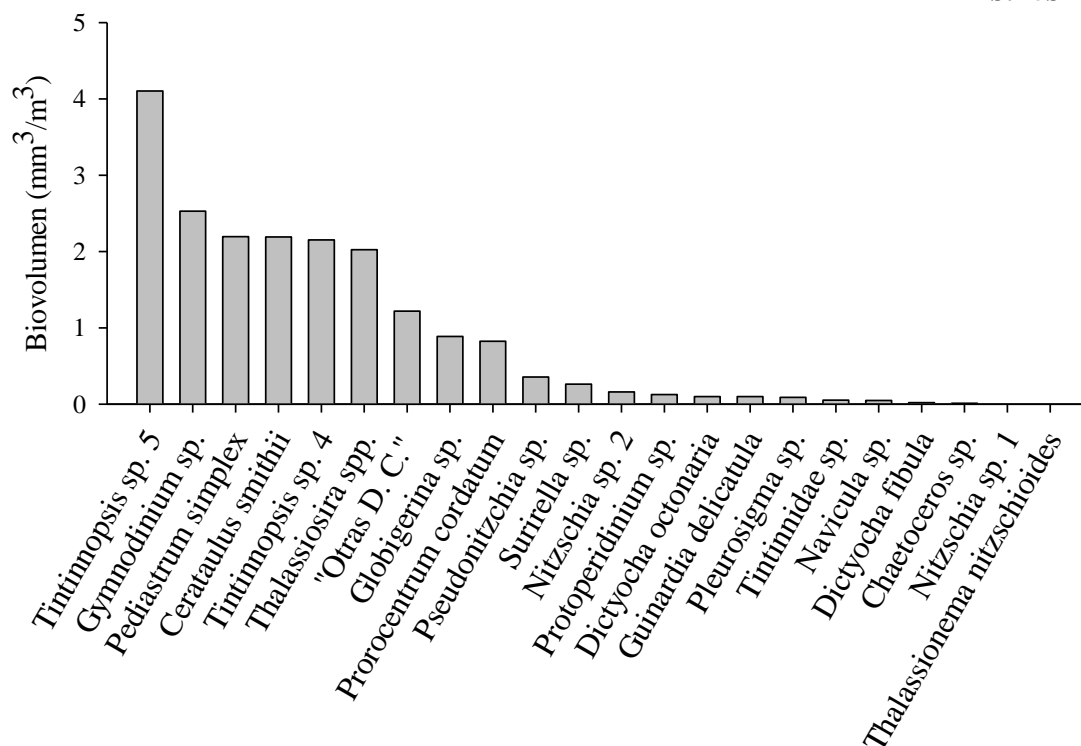


Figura 15. Biovolumen total (mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) de cada uno de los principales taxones identificados en superficie (S) y fondo (F) de St 15. Abreviaturas: D. C. (Diatomea Céntrica)

St 25S



St 25F

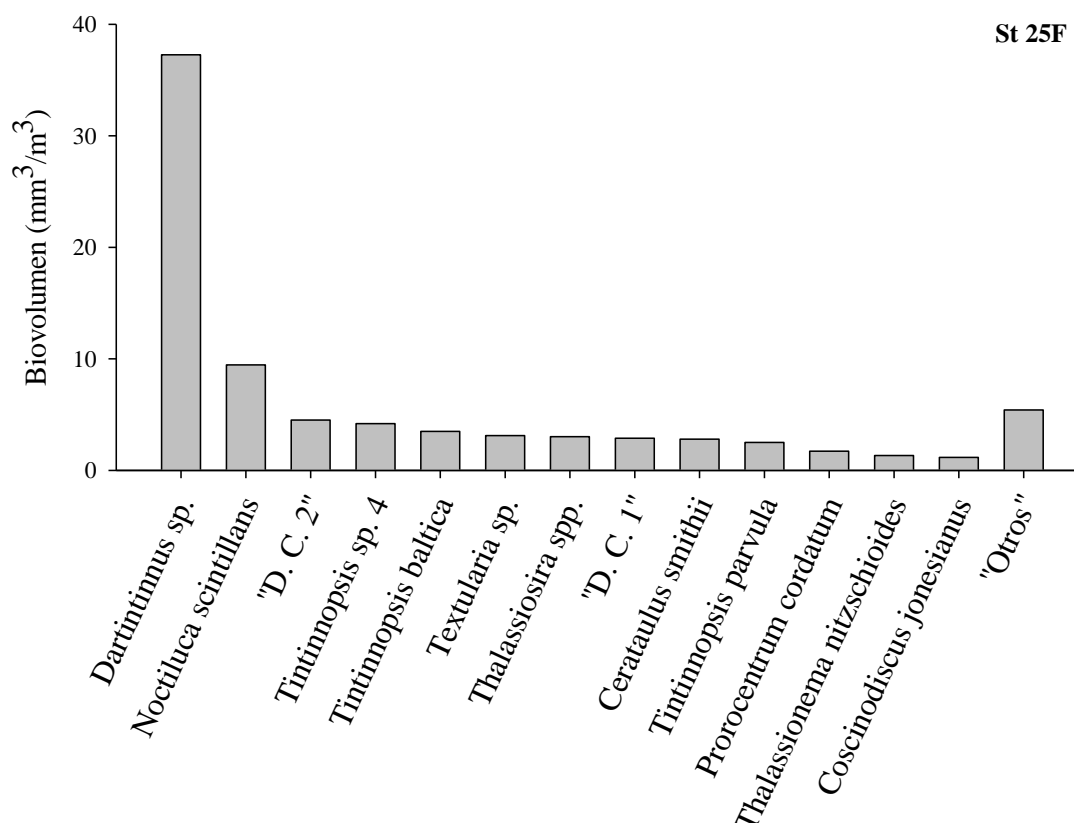
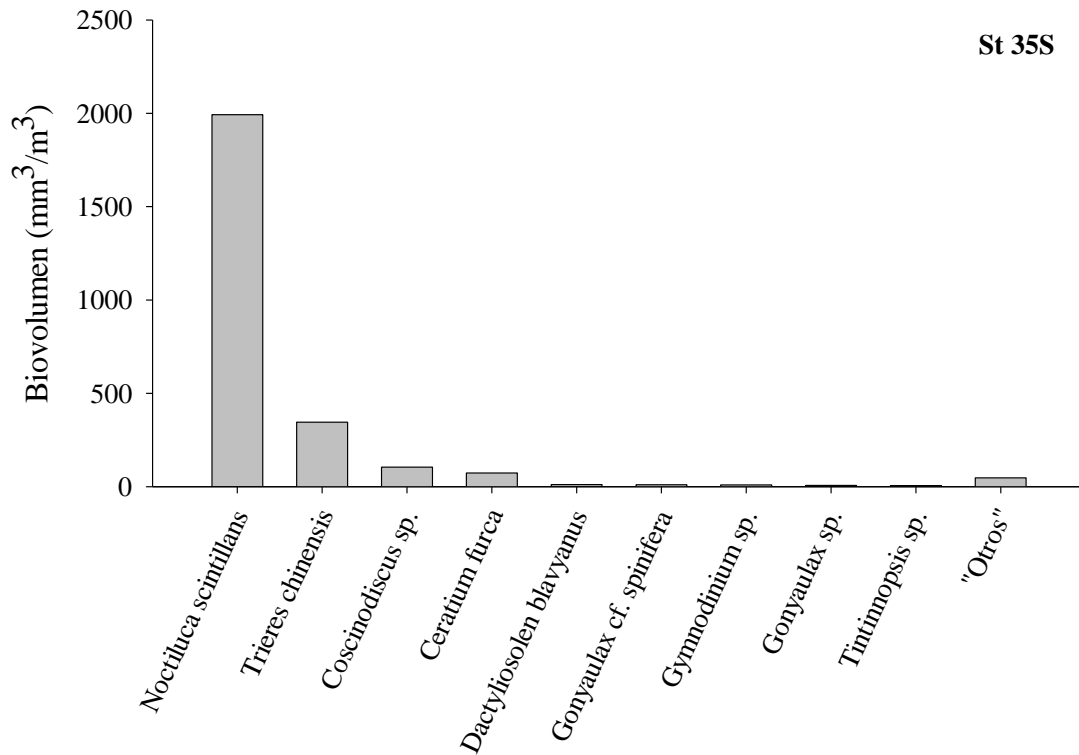


Figura 16. Biovolumen total (mm³/m³) de cada uno de los principales taxones identificados en superficie (S) y fondo (F) de St 25. Abreviaturas: D. C. (Diatomea Céntrica)

St 35 Superficie



**St 35F**

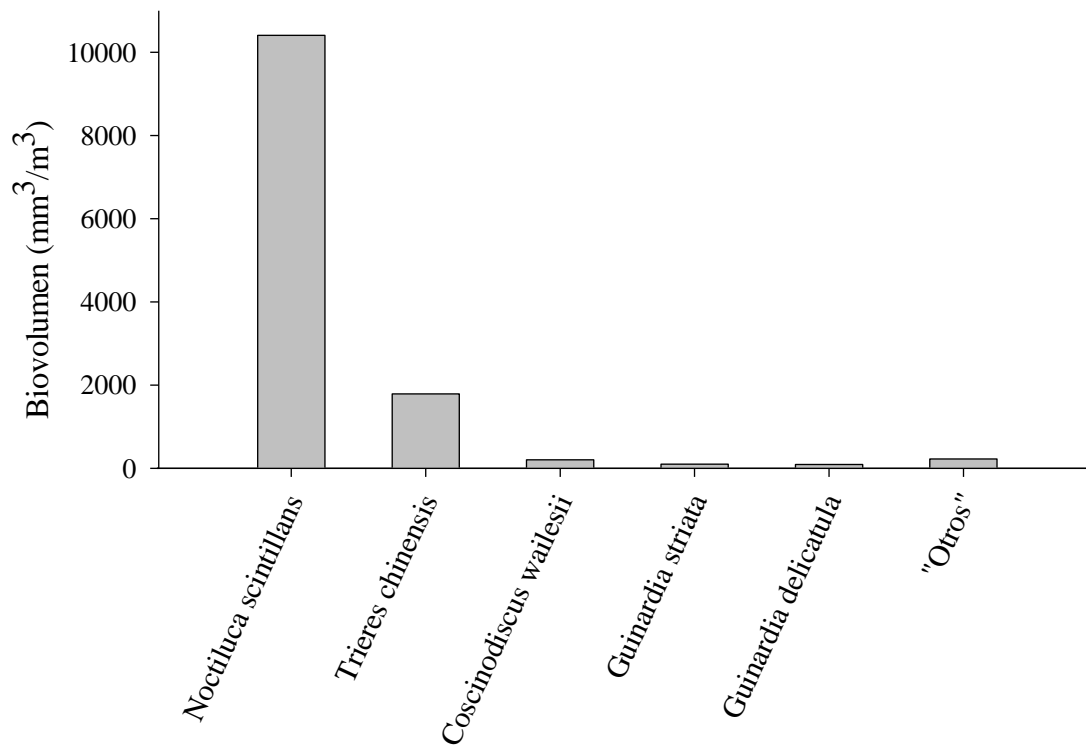


Figura 17. Biovolumen total ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) de cada uno de los principales taxones identificados en superficie (S) y fondo (F) de St 35.

El cociente Biomasa de autótrofos/Biomasa de heterótrofos (fracción de microplancton) es mayor en la estación menos salada, St 5 (Figura 18), especialmente en superficie ( $> 2$ ). Esta relación es bastante baja en las estaciones St 15 y St 35\* ( $< 0.5$ ), principalmente en la capa profunda de St 15 (0,1294).

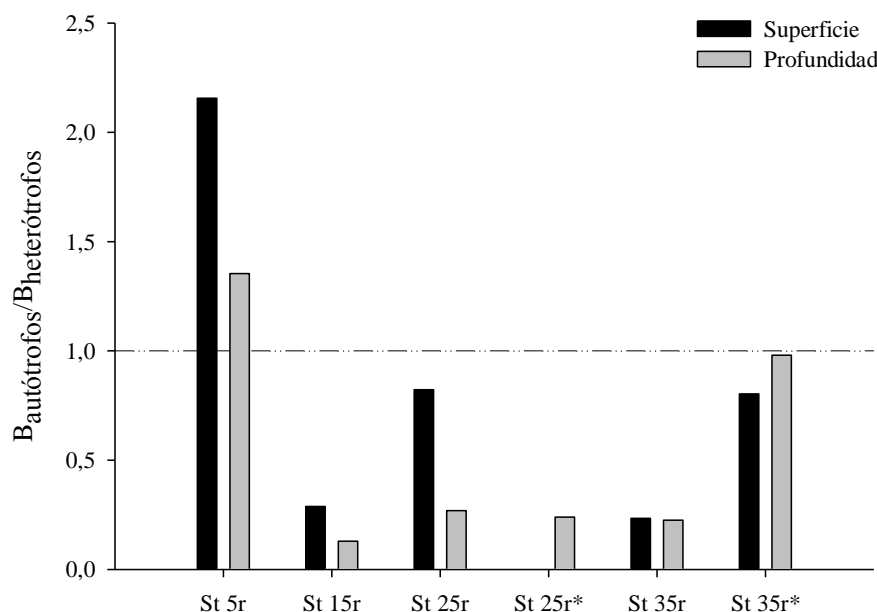


Figura 18. Relación de biomasa de autótrofos microplactónicos respecto a heterótrofos en superficie y fondo de las cuatro estaciones. Las estaciones marcadas con un asterisco (\*) se componen de la biomasa exceptuando la aportada por *Noctiluca scintillans*. La línea discontinua indica el valor en el cual la biomasa de organismos autótrofos se iguala a la de heterótrofos

#### 4.2.2.2. Relación Clorofila – Biovolumen

Se muestra en la Figura 19 la relación entre la concentración total de Chl-*a* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y el biovolumen ( $B$ ,  $\mu\text{m}^3/\text{m}^3$ ) expresada en forma logarítmica ( $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ ). Se muestran tres relaciones distintas: la primera, teniendo en cuenta el biovolumen total de cada estación (St 5, St 15, St 25 y St 35); la segunda muestra la relación Chl/B sin tener en cuenta la aportación de *N. scintillans* a la biomasa total (St 25\* y St 35\*) y; la tercera, la relación Chl/B teniendo en cuenta únicamente la biomasa de los organismos autótrofos (St 5a, St 15a, St 25a y St 35a).

Se observa un menor contenido de Chl por unidad de biomasa en el tramo más marino, salino y transparente, St 35, en todas sus variedades. Mientras que el resto de las estaciones (más estuáricas) presentan valores mucho más altos, siendo ligeramente menores para el caso de la estación St 15, tanto en superficie como en profundidad, teniendo en cuenta la biomasa total de autótrofos y heterótrofos.

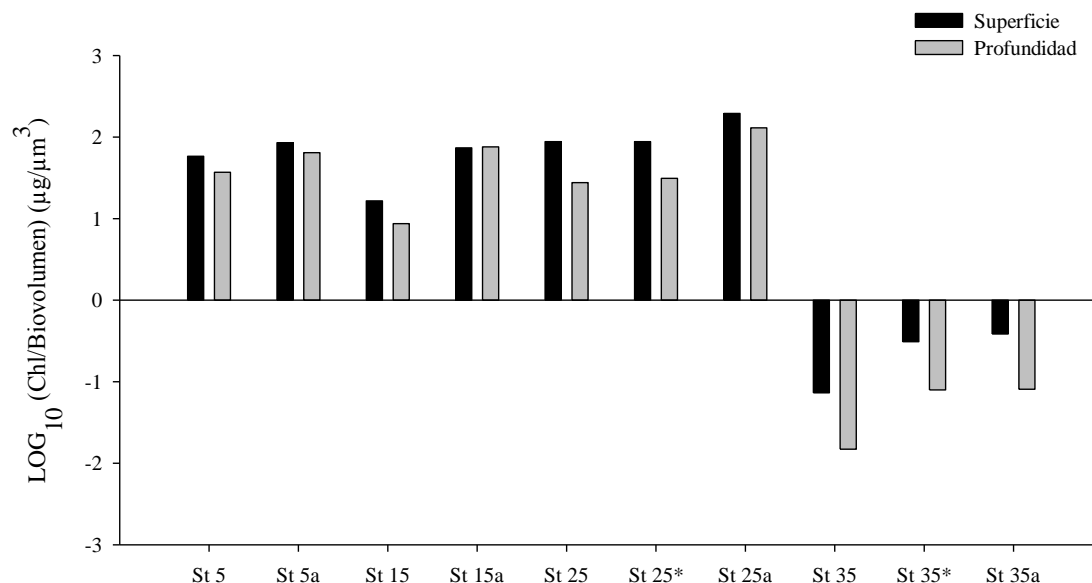


Figura 19. Relación Clorofila/Biomasa ( $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ ): Logaritmo en base 10 de la relación de la Chla-a ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) total y biovolumen ( $\mu\text{m}^3/\text{m}^3$ ) en función del biovolumen total de cada estación (St 5, St 15, St 25 y St 35); del biovolumen sin tener en cuenta la aportación de *Noctiluca scintillans* (St 25\* y St 35\*) y; cálculo teniendo en cuenta únicamente el biovolumen de los organismos autótrofos (St 5a, St 15a, St 25a y St 35a)

#### 4.2.2.3. Riqueza y diversidad

Aunque hay una tendencia general al aumento del número de especies hacia la zona marina, las estaciones St 15 y St 35 son similares y son las que presentan un mayor número de taxones, con un total de 57 y 59 distintos identificados respectivamente (Figura 20a). En estas se observa una mayor riqueza de taxones identificados en superficie (Figura 20b). Sin embargo, las estaciones con menor número de especies o taxones, St 5 y St 25, con un total de 31 y 44 taxones identificados respectivamente, presentan una mayor riqueza en fondo.

Se determina el índice de diversidad (Shannon – Weaver) calculado sobre abundancia numérica (Figura 21a) y la biomasa (Figura 21b). Se observa en general, un aumento del índice en función de la abundancia numérica desde el interior del río hacia el mar, y el patrón inverso (pero más constante en el interior del estuario) para el índice determinado en función de la biomasa.

En resumen, las estaciones más internas presentan el menor número de especies distintas y estas son menos equitativas en términos de abundancia, además las biomásas correspondientes son más equitativas respecto a las estaciones de mayor salinidad.



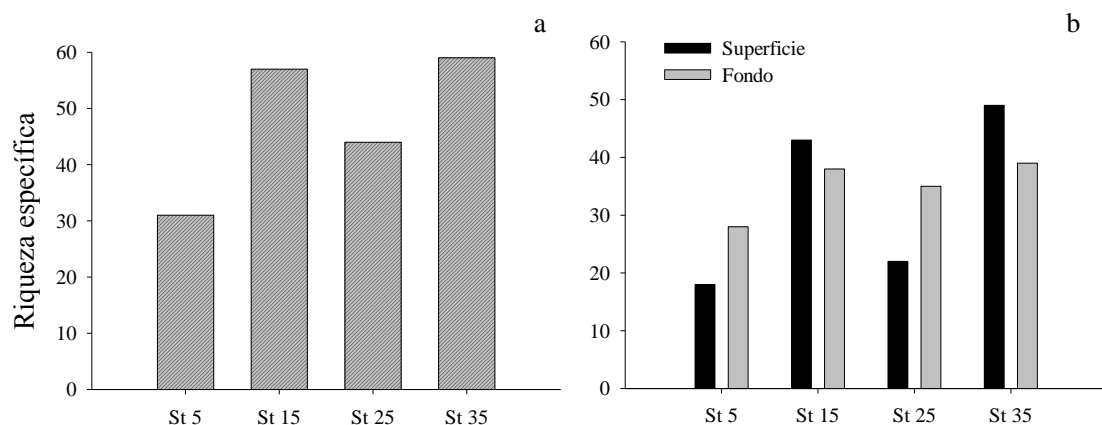


Figura 20. Riqueza (a) de taxones para el conjunto de la muestra de superficie y fondo para las estaciones en las cuatro salinidades y (b) de taxones para superficie y fondo de las cuatro estaciones

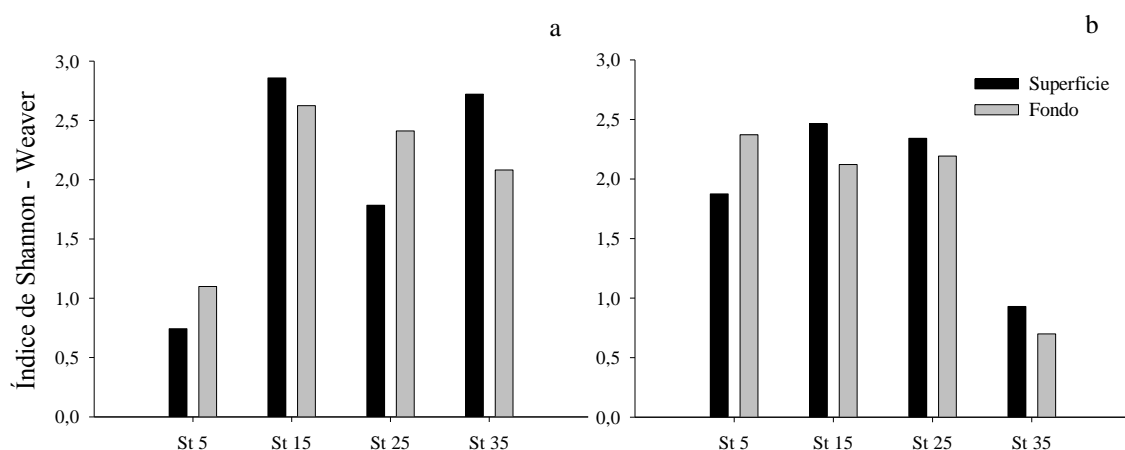


Figura 21. Índice de Shannon - Weaver a partir de (a) la abundancia numérica y (b) la biomasa en superficie y fondo de las cuatro estaciones

#### 4.2.3. Análisis de tamaño del microplancton

##### 4.2.3.1. Relación Superficie – Volumen (S/V)

El promedio de la relación S/V para cada una de las especies identificadas en las ocho estaciones se muestra en el Apéndice B. Los datos se muestran ordenados en función de la abundancia numérica, para cada una de las cuatro estaciones, mostrándose primero la estación de superficie (S) y después la de fondo (F).

*Thalassiosira spp.* es uno de los géneros que presenta especies en todas las muestras a lo largo del gradiente de salinidad, mostrando un ligero aumento de la relación S/V a mayor salinidad (de 0,389 a 0,568). Esta diferencia en la relación S/V presente en *Thalassiosira spp.* podría ser debida a que se han identificado al menos dos especies distintas mediante microscopía electrónica. *Pediastrum simplex*, presente en todas las estaciones excepto la última (St 35, en la que se identifica una variedad de esta especie) presenta una relación

S/V similar a lo largo del gradiente de salinidad ( $\approx 0,466$ ), salvo en la estación superficial de St 25 (estación que presenta menor similitud al resto de grupos), donde dicha relación es notablemente menor (0,143). Otro de los géneros que aporta la mayor parte de la biomasa en la estación superficial y profunda de St 15 y en St 25F es el tintínido *Dartintinnus sp.*, género que presenta una relación S/V constante a lo largo del gradiente de salinidad.

#### 4.2.3.2. Distribución de tamaños

Se ha realizado una clasificación por intervalos de tamaño de todos los organismos en las ocho muestras. Se eliminaron en todas las muestras, aquellos organismos cuyo eje menor era inferior a  $10\ \mu\text{m}$ , ya que se espera que parte de los individuos se haya perdido durante el tamizado a través de la malla de  $10\ \mu\text{m}$ . Las clases de tamaño se muestran según intervalos de octavas (Figura 22). La primera clase de tamaño muestra organismos con biovolumen entre  $10$  y  $100\ \mu\text{m}^3$ , mientras que la última clase de tamaño registrada equivale a biovolúmenes mayores a  $10^9\ \mu\text{m}^3$ .

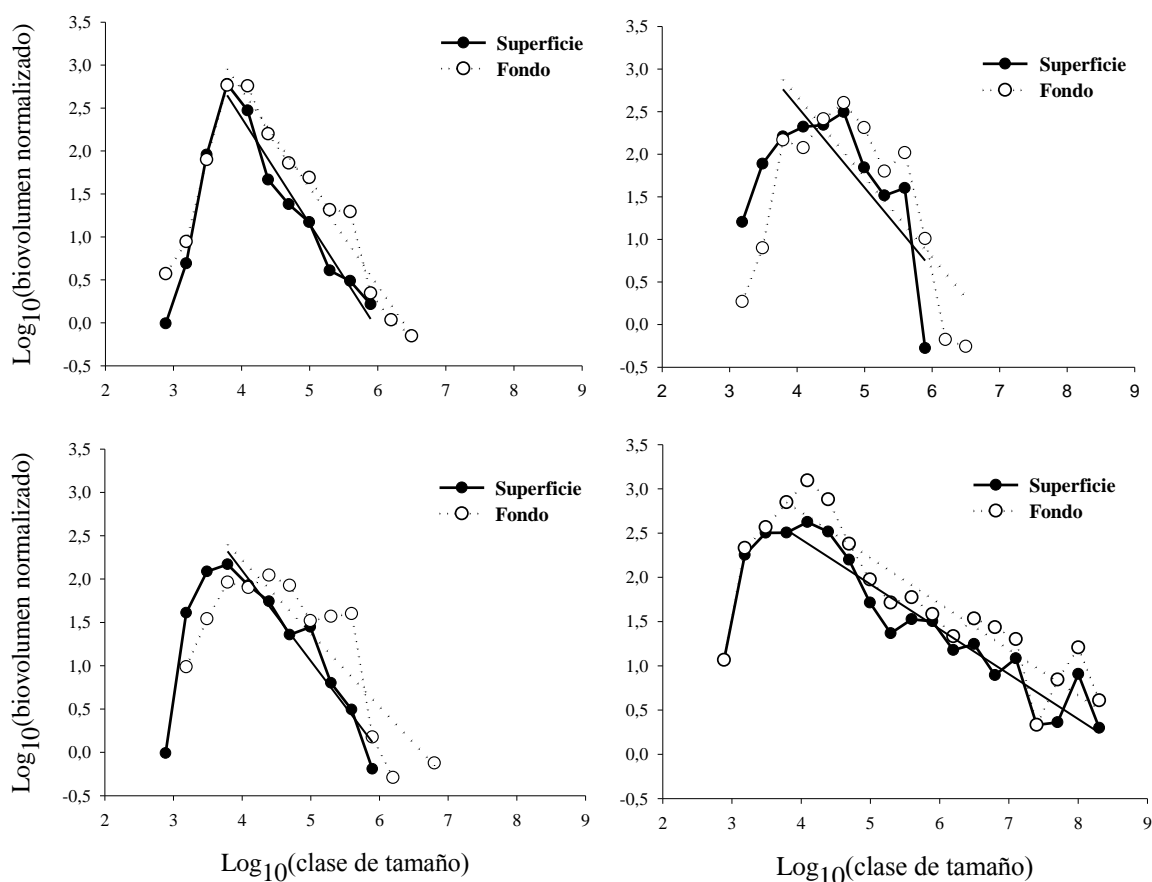


Figura 22. Distribución de tamaños del microplankton en función de la representación del biovolumen normalizado frente al valor medio de las distintas clases de tamaño en superficie (S) y fondo (F) de las cuatro estaciones. La pendiente a partir de la clase de tamaño 4 se muestra con una línea continua (superficie) y discontinua (fondo)

En general, se observa la tendencia esperada de disminución en el biovolumen normalizado frente a un aumento en el tamaño. A pesar de haber desechado las células con eje menor  $<10\text{ }\mu\text{m}$ , es probable que los organismos de menor tamaño hayan sido infravalorados, dado el drástico descenso de la biomasa normalizada por debajo de dicho tamaño (hasta un biovolumen de  $10\,000\text{ }\mu\text{m}^3$  correspondiente a la clase de tamaño 4). Es debido a esto por lo que, tal vez, no se muestra el máximo en las clases de tamaño más pequeñas.

Existen diferencias en el tamaño en función de la profundidad, con una tendencia a mayores tamaños en las estaciones profundas, así como una pendiente más pronunciada (a partir de la clase de tamaño 4, para evitar errores asociados a los organismos de menor tamaño). Al mismo tiempo, se muestra que los organismos de mayor tamaño tienden a situarse en las estaciones más marinas (St 35), en las que, además, la pendiente es mucho más marcada. De hecho, las clases de tamaño superiores a  $\log_{10} = 6$  (biovolumen mayor a  $1\,000\,000\text{ }\mu\text{m}^3$ ) solo tienen una representación relevante en esta estación exterior.

#### 4.2.4. Análisis Multivariante

##### 4.2.4.1. Ordenación de la comunidad

Se ha realizado un análisis de ordenación MDS de muestras (estaciones) basados en la abundancia numérica (Figura 23) y en la abundancia por biomasa (Apéndice C). Ambos análisis llegan a la misma separación en tres grupos distintos, así como al mismo porcentaje de similitud.

Se distingue un primer Grupo CM, costero – marino (St 35S y St 35F); Grupo T, de transición (St 25S) y; Grupo E, estuárico (St 25F, St 15S, St 15F, St 5S y St 5F). Las muestras del Grupo CM presentan un grado de similitud del 50 % entre ellas, así como las cinco muestras que componen el Grupo E. Entre el Grupo T y el Grupo E existe una similitud del 30 %, mientras que el Grupo CM, el menos similar, presenta una similitud del 20 % con el Grupo T y E.

##### 4.2.4.2. Análisis de porcentaje de similitud

Mediante un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) se obtiene como porcentaje la contribución de las especies tipificadoras a la similitud de cada estación en función de la abundancia (Tabla 6) y la biomasa (Tabla 7) para las cuatro estaciones. Se han seleccionado las especies por orden de mayor contribución hasta acumular un porcentaje igual o superior al 30%. Respecto a la contribución en función la abundancia (Tabla 6), *Thalassiosira spp.* es el único género que contribuye a la similitud de todas las estaciones siendo, además, su aportación máxima para la estación St 5 y St 25 (20, 27 % y 18,03 %, respectivamente),

estaciones a las que se llega al mayor porcentaje de contribución acumulado con el menor número de especies.

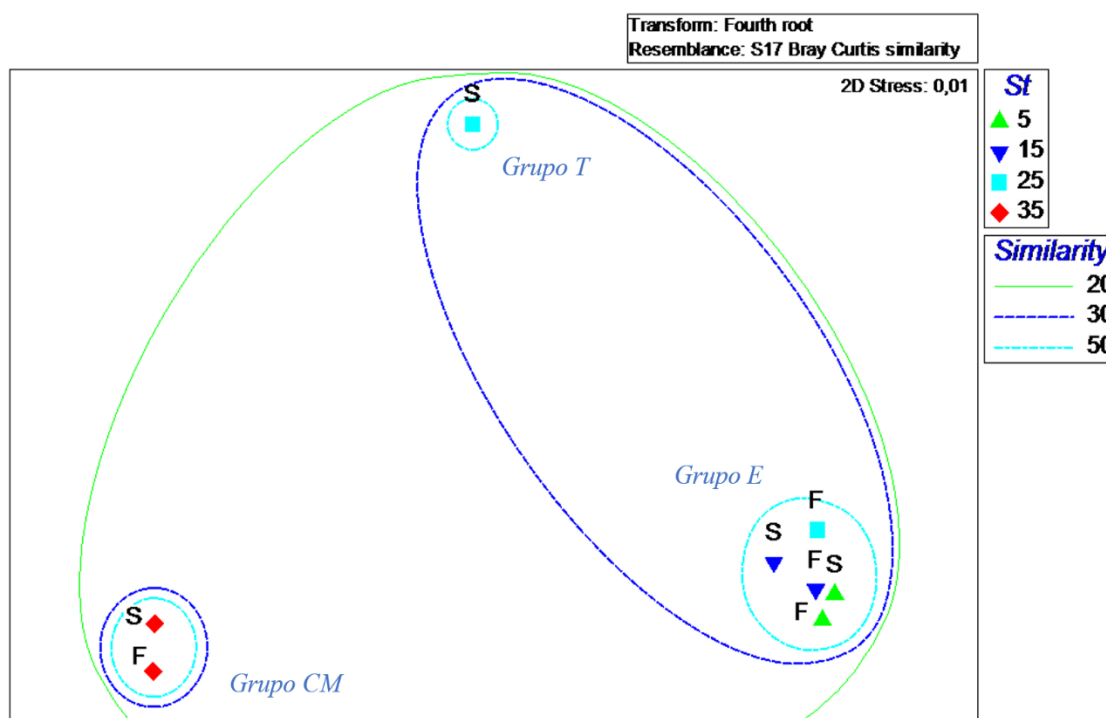


Figura 23. Análisis de similitud al 20%, 30% y 50% en función de la abundancia para superficie (S) y fondo (F) en las cuatro estaciones

Por otro lado, el género *Thalassiosira* sigue proporcionando la mayor contribución a la estación St 5 en función de la biomasa (Tabla 7). En la estación St 25, contribuye con un porcentaje similar (13 %) que el resto de las especies que caracterizan la estación (*Cerataulus smithii* y *Tintinnopsis sp. 4*). La estación St 15 se caracteriza por la aportación de 4 géneros distintos de tintínidos, con una mayor importancia de *Dartintinnus sp.*, mientras que *Noctiluca scintillans* es la especie que aporta el mayor porcentaje de similitud a la estación St 35.

#### 4.3. Análisis de relaciones entre variables ambientales y biológicas

Se ha empleado un análisis de correspondencia canónica (CCA) para estudiar las relaciones generales de las variables ambientales en el gradiente biológico observado a lo largo del estuario. Las variables empleadas han sido aquellas con mayor significancia con la matriz biológica (salinidad, turbidez, MO, Chl-*a*,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y Si).

Tabla 6. Porcentaje de contribución de cada grupo taxonómico a la similitud de las estaciones en función de la abundancia mediante análisis SIMPER

<b>Categoría taxonómica</b>	<b>St 5</b>	<b>St 15</b>	<b>St 25</b>	<b>St 35</b>
<i>Thalassiosira spp.</i>	13,91		13,29	
"Otras diatomeas céntricas"	9,03			
<i>Tintinnopsis spp.</i>	8,4			
<i>Dartintinnus sp.</i>		10,24		
<i>Stenosemella sp.2</i>		8,05		
<i>Nolaculus cf. bicornis</i>		6,15		
<i>Tintinnopsis baltica</i>		6,03		
<i>Cerataulus smithii</i>			13,56	
<i>Tintinnopsis sp. 4</i>			13,5	
<i>Noctiluca scintillans</i>				17,6
<i>Trieres chinensis</i>				11,36
<i>Dactyliosolen blavyanus</i>				4,35
<b>% Contribución acumulado</b>	<b>31,34</b>	<b>30,47</b>	<b>40,35</b>	<b>33,31</b>

Tabla 7. Porcentaje de contribución de cada grupo taxonómico a la similitud de las estaciones en función del biovolumen mediante análisis SIMPER

<b>Categoría taxonómica</b>	<b>St 5</b>	<b>St 15</b>	<b>St 25</b>	<b>St 35</b>
<i>Thalassiosira spp.</i>	20,27	7,27	18,03	4,98
<i>Pediastrum simplex</i>	9,14	8,26		
<i>Tintinnopsis baltica</i>	8,49			
<i>Stenosemella sp.2</i>		7,81		
<i>Tintinnopsis baltica</i>		6,79		
<i>Tintinnopsis sp. 4</i>			11,55	
<i>Prorocentrum cordatum</i>			11,09	
<i>Guinardia delicatula</i>				6,36
<i>Gymnodinium sp.</i>				6,3
<i>Tintinnopsis spp.</i>				5,22
<i>Chaetoceros subgénero Hyalochaete</i>				4,94
<i>Thalassionema nitzschioides</i>				4,77
<b>% Contribución acumulado</b>	<b>37,9</b>	<b>30,13</b>	<b>40,67</b>	<b>32,57</b>

Los resultados se muestran en dos representaciones. En la primera (Figura 24) se incluyen las distintas variables ambientales anteriormente descritas, con el objetivo de ordenar los principales taxones junto con otras variables. En la segunda representación (Figura 25) se ha excluido la salinidad del análisis, variable principal que ha guiado el diseño de muestreo, debido al peso que ejerce y ser tan obvio en el gradiente de salinidad. El objetivo consiste en poder estudiar los gradientes secundarios que influyen en la distribución de los taxones. En el primer análisis (Figura 24), los dos ejes principales explican el 56,5 % de la variación total observada. Se pueden distinguir cuatro grupos diferenciados. El Grupo I y II se asocian a los mayores valores de salinidad y los menores de concentración de Chl-*a*, turbidez, MO,

Si y  $\text{PO}_4^{3-}$ . Sin embargo, el Grupo I se asocia a una menor concentración de  $\text{NH}_4^+$  que el Grupo II.

La estación St 35S presentaría las características más parecidas al Grupo I y los taxones fundamentales asociados serían *Dictyocha octonaria*, *Gymnodinium sp.*, “Otros dinoflagelados” y “Otras diatomeas pennadas”.

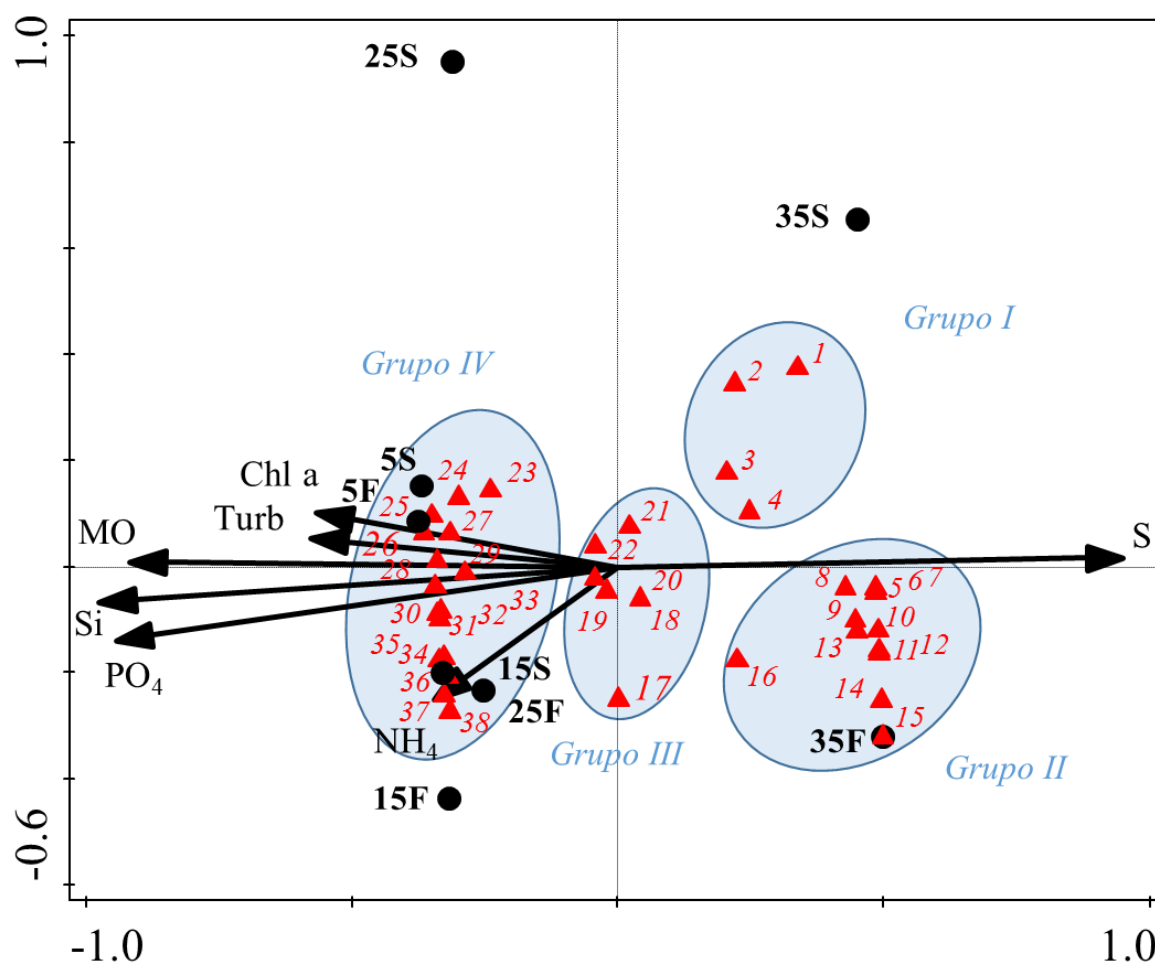


Figura 24. Representación de la relación de las variables ambientales y los taxones de fitoplancton seleccionados (especies, géneros y algunos grupos) a partir de un CCA. 1 (*Dictyocha octonaria*), 2 (*Gymnodinium sp.*), 3 (“Otros dinoflagelados”), 4 (“Otras diatomeas pennadas”), 5 (*Chaetoceros danicus*), 6 (*Chaetoceros* subgén. *Hyalochaete*), 7 (*Trieres chinensis*), 8 (*Thalassionema nitzschioides*), 9 (*Noctiluca scintillans*), 10 (*Guinardia delicatula*), 11 (*Chaetoceros* subgén. *Phaeoceros*), 12 (*Dactylosolen blavianus*), 13 (*Bacteriastrium sp.*), 14 (*Guinardia striata*), 15 (*Dactylosolen sp.*), 16 (*Cylindrotheca sp.*), 17 (*Nitzschia sp.*), 18 (*Pseudonitzschia sp.*), 19 (*Navicula sp.*), 20 (*Pleurosigma sp.*), 21 (“Otras diatomeas céntricas”), 22 (*Prorocentrum cordatum*), 23 (*Tintinnopsis spp.*), 24 (*Tintinnopsis sp.4*), 25 (*Thalassiosira spp.*), 26 (*Pediastrum boryanum*), 27 (*Globigerina sp.*), 28 (*Surirella sp.*), 29 (*Cerataulus smithii*), 30 (*Pediastrum simplex*), 31 (*Tintinnopsis baltica*), 32 (*Tintinnopsis nana*), 33 (“Diatomea céntrica 2”), 34 (*Stenosemella sp.2*), 35 (*Tintinnopsis parvula*), 36 (*Dartintinnus sp.*), 37 (*Tintinnopsis levigata*), 38 (*Nolaculisilis cf. bicornis*)

La estación St 35F estaría asociada, sin embargo, al Grupo II, incluyendo los siguientes taxones: *Noctiluca scintillans*, *Cylindrotheca* sp., *Thalassionema nitzschioides*, *Bacteriastrum* sp., *Trieres chinensis*, *Dactylosolen* sp., *Dactylosolen blavyanus*, *Guinardia striata*, *Guinardia delicatula*, *Chaetoceros danicus*, un *Chaetoceros* del subgénero *Hyalochaete*, y un *Chaetoceros* del subgénero *Phaeoceros*.

El Grupo III, aparece asociado a características intermedias de todas las variables. A este grupo se asocian, posiblemente, taxones marinos tolerantes de transición del ambiente marino al estuárico, *Nitzschia* sp., *Pseudonitzschia* sp., *Navicula* sp., *Pleurosigma* sp., “Otras diatomeas céntricas” y *Prorocentrum cordatum*.

Por último, el Grupo IV se caracteriza por presentar valores menores de salinidad y mayores valores de concentración en Chl-*a*, turbidez, MO, Si, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Este grupo se asocia a ambas profundidades de las estaciones St 5, St 15 y la capa profunda de St 25. Ambas profundidades de St 5 presentan mayores concentraciones en Chl-*a* y turbidez, mientras que la muestra St 15S y la St 25F mostraron mayores concentraciones en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. A este grupo, en el que abundan los tintínidos, se asocian los siguientes taxones: *Dartintinnus* sp., *Nolaculus cf. bicornis*, *Tintinnopsis baltica*, *Tintinnopsis nana*, *Tintinnopsis parvula*, *Tintinnopsis levigata*, *Tintinnopsis* sp. 4, *Tintinnopsis* spp., *Stenosemella* sp.2, *Surirella* sp., *Thalassiosira* spp., *Cerataulus smithii*, “Diatomea céntrica 2”, *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum simplex* y *Globigerina* sp.

La capa superficial de la estación St 25 presenta características parecidas a las del Grupo IV, pero las concentraciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> son mucho menores.

Si en el análisis de ordenación no se tiene en cuenta la salinidad, aparecen más claras las tendencias debidas a gradientes de otras variables (Figura 25). Los dos ejes principales explican el 55,5 % de la variación total observada. Se pueden distinguir cinco grupos con características distintas.

El Grupo I es el que presenta los mayores valores de concentración de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Si, MO, turbidez y Chl-*a*, y las menores concentraciones en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. A este grupo se asocia la muestra St 25S y ambas profundidades de la estación St 5 (las cuales presentan los mayores valores de turbidez y Chl-*a*, coincidiendo con la ZMTE). Al Grupo I se asocian los siguientes taxones: *Tintinnopsis baltica*, *Tintinnopsis nana*, *Globigerina* sp, *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum simplex*, *Surirella* sp., *Thalassiosira* spp., *Cerataulus smithii* o “Diatomea céntrica”.

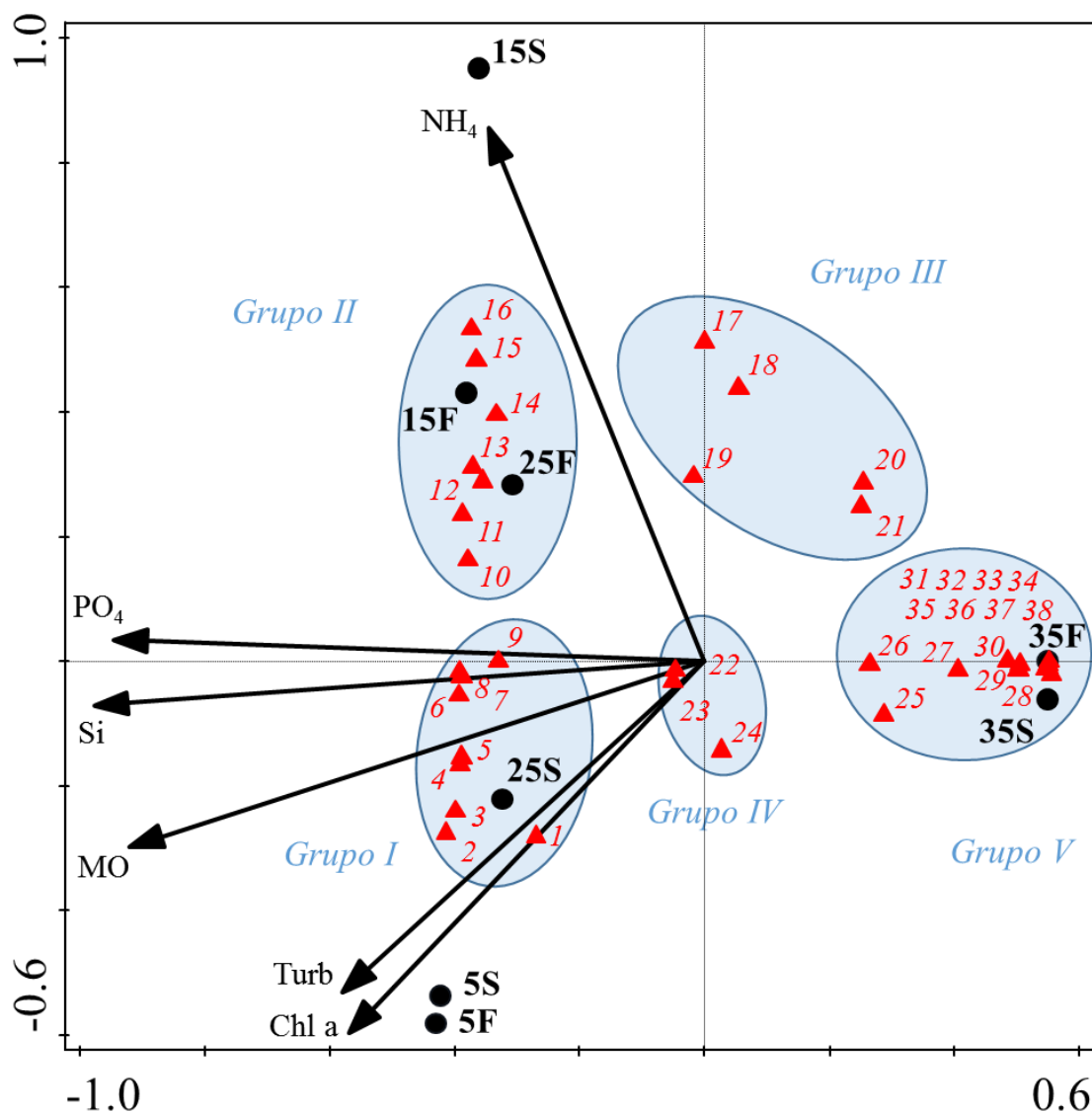


Figura 25. Representación de la relación de las variables ambientales excluyendo la salinidad y los taxones de fitoplancton seleccionados (especies, géneros y algunos grupos) a partir de un CCA. 1 (*Thalassiosira* spp.), 2 (*Pediastrum boryanum*), 3 (*Globigerina* sp.), 4 ("Diatomea céntrica 2"), 5 (*Tintinnopsis* *nana*), 6 (*Tintinnopsis* *baltica*), 7 (*Pediastrum simplex*), 8 (*Surirella* sp.), 9 (*Cerataulus smithii*), 10 (*Dartintinnus* sp.), 11 (*Stenosemella* sp.), 12 (*Prorocentrum cordatum*), 13 (*Tintinnopsis* sp. 4), 14 (*Tintinnopsis parvula*), 15 (*Tintinnopsis levigata*), 16 (*Nolaculisilis* cf. *bicornis*), 17 (*Nitzschia* sp.), 18 (*Pseudonitzschia* sp.), 19 (*Navicula* sp.), 20 (*Cylindrotheca* sp.), 21 ("Otros dinoflagelados"), 22 ("Otras diatomeas céntricas"), 23 (*Pleurosigma* sp.), 24 (*Tintinnopsis* spp.), 25 ("Otras diatomeas pennadas"), 26 (*Gymnosinium* sp.), 27 (*Dictyocha octonaria*), 28 (*Guinardia delicatula*), 29 (*Noctiluca scintillans*), 30 (*Guinardia striata*), 31 (*Chaetoceros danicus*), 32 (*Dactyliosolen* sp.), 33 (*Chaetoceros* subgénero *Hyalohaete*), 34 (*Thalassionema nitzschioides*), 35 (*Chaetoceros* subgénero *Phaeoceros*), 36 (*Dactyliosolen blavyanus*), 37 (*Trieres chinensis*), 38 (*Bacteriastrium* sp.)

El Grupo II, al igual que el Grupo I, presenta valores altos en concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$ , Si y MO, pero sobre todo alta concentración de  $\text{NH}_4^+$ . Sin embargo, los valores de turbidez y Chl-*a* son menores que el grupo anterior. Al Grupo II se asocian las muestras profundas de St 15, St 25 y especialmente la muestra superficial de St 15. Los taxones que integra el Grupo II, en el que predominan los tintínidos, son: *Prorocentrum cordatum*, *Nolaculisilis*



*cf. bicornis*, *Dartintinnus sp.*, *Stenosemella sp.*, *Tintinnopsis levigata*, *Tintinnopsis parvula*, *Tintinnopsis sp. 4*.

El Grupo III y el Grupo IV presentan características intermedias entre los grupos anteriores y el Grupo V. El Grupo IV en comparación con el Grupo III presenta mayores valores de turbidez y concentración de Chl-*a* y menores concentraciones de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Los taxones que integran el Grupo III son: *Nitzschia sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, *Cylindrotheca sp.*, *Navicula sp.*, y “Otros dinoflagelados”.

Los taxones del Grupo IV son: “Otras diatomeas céntricas”, *Tintinnopsis spp.*, *Pleurosigma sp.*, y “Otras diatomeas pennadas”. El Grupo V es el que más difiere del resto, ya que presenta los valores de concentraciones más bajos de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Si, MO, turbidez y de Chl-*a*. Este grupo está integrado por un gran número de taxones habituales en la costa entre los que predominan diatomeas: *Guinardia delicatula*, *Guinardia striata*, *Dactyliosolen blavyanus*, *Dactyliosolen sp.*, *Chaetoceros danicus*, un *Chaetoceros* del subgénero *Hyalochaete*, un *Chaetoceros* del subgénero *Phaeoceros*, *Bacteriastrum sp.*, *Trieres chinensis*, *Thalassionema nitzschioides*, “Otras diatomeas pennadas”, *Gymnodinium sp.*, *Noctiluca scintillans*, y *Dictyocha octonaria*.

## 5. DISCUSIÓN

El presente trabajo trata de caracterizar y cuantificar la distribución del microplancton en las aguas del ERG y relacionarla con los gradientes de variables ambientales. En concreto, la distribución y dinámica de la fracción de microfitoplancton debería explicarse de acuerdo con la de los recursos que favorezcan o puedan limitar la producción primaria en la columna de agua, que, fundamentalmente son el ambiente lumínico y la disponibilidad de nutrientes inorgánicos disueltos (DIN).

Al tratarse de un estuario generalmente muy mezclado, *a priori* se podrían haber esperado bajos valores de abundancia, biomasa y Chl debido a la limitación por luz a causa de la alta turbidez (Cloern, 1987; Joint y Pomroy, 1981). No obstante, los resultados muestran no solo abundantes especies tanto de autótrofos como de heterótrofos a lo largo del gradiente de salinidad, sino, especialmente, unos relativamente altos valores de biomasa y Chl en determinadas estaciones que conviene analizar. Del mismo modo, se esperaban altos valores de concentración de nutrientes inorgánicos disueltos, coincidiendo con los descritos como no limitantes en el ERG (Navarro *et al.*, 2012).

### 5.1. Ambiente lumínico en el estuario

En el ERG existe un claro gradiente de turbidez (Figura 7) desde la estación más interna en cuyo fondo se localiza el valor máximo y donde se detectó la ZMTE durante el periodo de muestreo (St 5, 1800 NTU) hasta la desembocadura, donde las aguas son mucho más transparentes (St 35, 0 NTU). La ZMTE del ERG también ha sido identificada por otros autores a partir de unos 30 km de la boca del estuario, distancia a la que se sitúa la St 5 durante el periodo muestreado ( Caballero *et al.*, 2018; Contreras y Polo, 2012). También se había observado un tramo final más transparente en la desembocadura, donde tienen lugar los procesos de intercambio con la plataforma (Ruíz y Losada, 2010). La disponibilidad de luz necesaria para los productores primarios, por tanto, podría ser insuficiente en los tramos de mayor turbidez en torno a la ZMTE, reduciendo la penetración de la radiación fotosintéticamente activa disponible en la columna de agua y dificultando su conversión en biomasa (Navarro *et al.*, 2012; Ruíz y Losada, 2010).

La formación de esta ZMTE puede deberse a dos tipos de factores: físicos y biológicos. El primer factor aumentaría la turbidez debido a una acumulación de pequeñas partículas de sedimentos por procesos de confluencia de masas de agua y floculación (French, 1997; Wolanski *et al.*, 2013). De este modo, se crea un filtro físico (Figura 2a) en la ZMTE donde se acumulan todas las partículas, sedimentos y ciertos organismos del plancton. Estos organismos, mediante procesos de formación de TEPs, podrían potenciar esta floculación (Maynard y Biggs, 1985).

Los organismos fitoplanctónicos en la ZMTE en la cual la penetración de la luz disminuye mucho debido al aumento de la turbidez estarían, en teoría, en situación de estrés por falta de luz. Sin embargo, sería posible que sufrieran procesos de fotoadaptación. Esta adaptación se puede estudiar a partir de la relación entre la Chl-*a* y la biomasa. La Figura 19 muestra la relación entre la clorofila total aportada por el pico, nano y microfitoplancton (medida sobre un filtro GF/F) frente a la biomasa únicamente del microplancton. A pesar de esto, los altos valores en la escala logarítmica muestran que, por unidad de biovolumen, existe una mayor cantidad de Chl-*a* relativa en las estaciones con mayor turbidez, sugiriendo que la comunidad planctónica que ahí habita pudiera estar adaptada a largos periodos de oscuridad. Este resultado observado, lleva a pensar que la comunidad fitoplanctónica de estuarios mezclados y turbios en general, y del Guadalquivir en particular, podría presentar un rendimiento fotosintético superior al esperado en microalgas adaptadas a aguas costeras más transparentes.

Sin embargo, esta tendencia a la acumulación física de sedimentos y células en la ZMTE (Lancelot y Muyllaert, 2011), también ha sido identificada en diversos estuarios de Vietnam (Rochelle-Newall *et al.*, 2011; Vinh *et al.*, 2018), del río Severn en Reino Unido (Joint y Pomroy, 1981) o en el estuario del río San Francisco en EE. UU. (Cloern, 2018). Así como también ha sido observado un aumento relativo de Chl-*a* asociado a una limitación en la cantidad de luz en distintas diatomeas (Paasche, 1968) y dinoflagelados (Prézelin y Alberte, 1978). Este mecanismo, así como otros que no se han podido estudiar en el presente trabajo (aumento del número o tamaño de las unidades fotosintéticas) son mecanismos que emplean los organismos para mejorar la actividad fotosintética cuando la irradiancia recibida disminuye (Prézelin y Alberte, 1978).

## 5.2. Disponibilidad de nutrientes inorgánicos

La relación DIN/SRP a lo largo de todo el estuario se mantiene mayor a 16:1 (Redfield, 1934), siendo máxima en St 5 (104:1). La relación Si/DIN se mantiene menor a 1 (máximo de 0,61 en St 25), así como la relación Si/SRP se mantiene mayor a 22 (salvo en St 35, 19) (Tabla 2). Teniendo en cuenta que una relación N/P < 10 y Si/N > 1 podrían indicar limitación por N, una relación N/P > 22 y Si/P > 22 limitación por P, y una relación Si/P < 10 limitación por Si (Justić *et al.*, 1995), se podría pensar que durante el periodo de muestreo en el ERG, N y Si no son limitantes, mientras que el PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> podría ser sospechoso, *a priori*, de causar limitación en todo el gradiente.

Sin embargo, para estudiar mejor si determinados nutrientes son limitantes en el sistema, se debe comparar la concentración absoluta presente en el ambiente y la necesaria para los organismos.

Las concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el ERG (Tabla 2) van aumentando a lo largo de un gradiente costa – estuario y resultan ligeramente menores a promedios registrados en la bibliografía (285 µM), y coinciden con los límites inferiores descritos por otros autores tanto en la zona interna del estuario (49 – 461 µM), como en la desembocadura (1,89 – 278 µM), donde son ligeramente menores (Navarro *et al.*, 2012; Ruiz *et al.*, 2017).

No obstante, el PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (Tabla 2) en el periodo muestreado fue ligeramente menor al promediado (2,4 µM) (Navarro *et al.*, 2012; Ruiz *et al.*, 2017).

Para tener una idea sobre si la disponibilidad de nutrientes es suficiente para un crecimiento sostenido, se hace uso de las tablas de constantes de semisaturación (K<sub>s</sub>) para distintos grupos taxonómicos, teniendo en cuenta que especies con mayor K<sub>s</sub> dominarán ambientes

más ricos en nutrientes. También para dinoflagelados la  $K_s$  es generalmente mayor que para diatomeas (Smayda, 1997) aunque se debe tener en cuenta que muchos son mixótrofos y compensan esto asimilando nitrógeno orgánico.

Asumiendo, como anteriormente se ha descrito, que ni N ni Si son limitantes en el ERG, se comparan las constantes  $K_s$  para el  $\text{PO}_4^{3-}$  recopiladas y tabuladas en Sala *et al.* (en preparación) con la concentración de nutrientes del ERG (Tabla 2). Dicha recopilación muestra unas  $K_s$  para diatomeas entre 0,03 y 2,8  $\mu\text{M}$  con una media de 0,77  $\mu\text{M}$ . Las observaciones durante el periodo de muestreo (Tabla 2) muestran que, para el grupo de las diatomeas, el  $\text{PO}_4^{3-}$  no es limitante en las estaciones internas (1,9 – 1,92  $\mu\text{M}$ ), a pesar del desequilibrio DIN/SRP, hecho que es explicable debido a las carencias de luz. Las diatomeas de St 25 sí sufrirán posibles limitaciones por  $\text{PO}_4^{3-}$  (0,82  $\mu\text{M}$ ), y, por fin, en la desembocadura, St 35, el P sí sería un claro limitante del crecimiento (0,03  $\mu\text{M}$ ).

*Trieres chinensis*, por ejemplo, presentaría un valor para la  $K_s$  de 0,17  $\mu\text{M}$ , mientras que en ciertas especies de *Thalassiosira* ascendería a 1,72  $\mu\text{M}$  (Sala *et al.*, en preparación). Esta limitación debido a los valores de  $K_s$  también sucedería para determinadas especies de dinoflagelados, como *Gymnodinium bogoriense*, *Peridinium cinctum* o *Prorocentrum minimum* (Smayda, 1997), aunque muchos son mixótrofos y podrían obviar tal limitación.

En resumen, las concentraciones de nutrientes observadas en el ERG son inferiores a las encontradas por otros autores que definen un ambiente altamente eutrófico a lo largo del estuario (Cañavate *et al.*, 2015; Ruíz y Losada, 2010; Ruiz *et al.*, 2013), posiblemente, debido a que los meses de mayo de 2017 y 2018 carecieron de precipitaciones, disminuyendo la entrada de nutrientes al estuario (Caballero y Navarro, 2016). Mientras que gradientes para los nutrientes con una mayor concentración en la parte alta del río e inferior en la desembocadura también se han descrito para otros estuarios (turbios y ricos en nutrientes) como el de la Bahía de San Francisco (Cloern *et al.*, 2017).

### 5.3. Control de la producción primaria en el tramo estudiado

Pese a los extremos de posible limitación por P en las estaciones más exteriores, y por disponibilidad de luz (condiciones contrarias) en las estaciones más internas, se observa una variación en el pH (Figura 11). Se ha observado un ligero aumento del pH en la estación más interna, St 5 (8,15) y en la desembocadura (St 35, 8,075) respecto a las estaciones intermedias (7,98 – 8,05). Una de las causas que podrían contribuir a estas diferencias, junto

con cambios químicos en el agua de otra naturaleza, serían aumentos relativos en la producción primaria debido a la actividad biológica de los organismos.

El porcentaje de saturación de oxígeno mayor al 90 % en todo el estuario a pesar de su turbidez (Figura 9) sugiere que podrá darse cierto nivel de producción primaria y que las tasas de producción son similares a las de respiración. Estos valores se mantienen incluso en la ZMTE limitada por luz y zonas profundas, teniendo en cuenta que el estuario está muy mezclado y eso llevaría a difuminar zonas de déficit de oxígeno, no se puede descartar nuevamente, la presencia de ciertos organismos fotoadaptados que contribuirían a evitar un claro desequilibrio a favor de la respiración.

En resumen, una limitación por luz tendría lugar en la zona interna del río, principalmente en la ZMTE, mientras que la limitación por nutrientes se reduciría a la zona externa del estuario donde el únicamente el  $\text{PO}_4^{3-}$  puede llegar a ser limitante para ciertas diatomeas. De esta manera, en la Figura 26 se representa el gradiente de turbidez (escala de grises) y la concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  disponible en el medio.

En las estaciones internas (St 5 y St 15) la producción se vería limitada por la alta turbidez, no siendo limitante ningún nutriente. Coincidiendo con otros autores que recalcan que no existe limitación por nutrientes, sino por luz, siendo la luz un factor más importante que el suministro de nutrientes respecto a la limitación de la producción primaria (Ruiz *et al.*, 2017).

Más al exterior, en St 25, la disponibilidad de luz aumenta, aunque la turbidez se mantiene alta, mientras que la concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  disponible disminuye, reduciéndose al promedio tabulado para la  $K_s$ . En esta zona, si se da limitación de la producción primaria, podrá ser debida a ambos factores por separado o en conjunto.

En la desembocadura (St 35), la disponibilidad de luz es prácticamente total, mientras que la disponibilidad de  $\text{PO}_4^{3-}$  es mínima. La producción en esta zona costera se ve claramente limitada por el  $\text{PO}_4^{3-}$ .

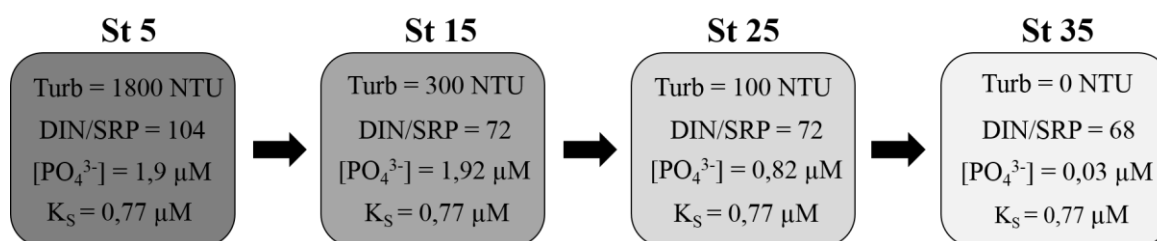


Figura 26. Esquema de las cuatro estaciones en el que se indica la turbidez (Turb. y en gris oscuro la mayor limitación y en claro la no limitación por turbidez), relación DIN/SRP, concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $K_s$  para el  $\text{PO}_4^{3-}$ .

#### 5.4. Distribución del microplancton autótrofo y heterótrofo

La estación más transparente, (St 35) presenta un biovolumen de microplancton mucho mayor que las estaciones estuáricas ( $13\,000\text{ mm}^3/\text{m}^3$ , Figura 13), marcando una clara diferencia, mientras que el resto de las estaciones no sobrepasan los  $200\text{ mm}^3/\text{m}^3$  (salvo el ligero repunte en la estación profunda de St 5,  $400\text{ mm}^3/\text{m}^3$ ). Sin embargo, las mayores abundancias numéricas de organismos microplanctónicos se sitúan principalmente en las capas profundas de la estación más turbia y rica en nutrientes (St 5) y de la más transparente pero pobre en nutrientes (St 35), siendo similares, mientras que existe una gran diferencia respecto a las intermedias, St 15 y St 25. La acumulación de células principalmente en la ZMTE (St 5) puede deberse a los procesos físicos desarrollados en el apartado 5.1. Ambiente lumínico en el estuario. Estos resultados sugieren que el tamaño promedio de los organismos en la estación profunda del interior del estuario (St 5,  $12\,290\text{ }\mu\text{m}^3/\text{m}^3$ ) deben ser muy inferiores al promedio de la estación exterior (St 35,  $437\,650\text{ }\mu\text{m}^3/\text{m}^3$ ), cuyo hecho se hace evidente comparando su distribución de tamaños (Figura 22).

Pese a que no se pueda representar un espectro completo de tamaños debido a que en el presente trabajo se estudia únicamente la fracción microplanctónica, se observa una clara diferencia entre la estación más externa, St 35, con el resto del estuario. La representación de tamaños del microplancton revela dos tendencias. La primera es que la comunidad microplanctónica del interior del estuario tiende a formarse por individuos de un tamaño notablemente menor en comparación con St 35. La segunda, y menos marcada, indica que los organismos en la superficie del transecto presentan un tamaño ligeramente menor a los determinados en profundidad. El ligero aumento del tamaño en profundidad puede deberse a que, a pesar del estado de mezcla, las células de mayor tamaño (y densidad) tienden a hundirse más rápidamente y permanecer menos tiempo en la parte superficial de la columna de agua. Sin embargo, el aumento del tamaño hacia el exterior del estuario puede deberse a que en el interior existe una mayor proporción de depredadores (mesozooplancton) respecto al exterior, ya que como se observa en la Figura 22, organismos de tamaño superior (a partir de la clase de tamaño 6) son prácticamente inexistentes en las estaciones internas, mientras que en la desembocadura presentan un repunte.

El estudio llevado a cabo en paralelo en el ERG por Reyes-Martínez (comunicación personal, 02 de septiembre de 2020) muestra que en las estaciones internas del estuario (St 5, St 15 y St 25) durante el mes de mayo de 2017, la densidad promedio de mesozooplancton fue cercana a  $15\,000\text{ ind}/\text{m}^3$ , 90 % del cual fue dominado por *Acartia tonsa*. Se trata de un

copépodo omnívoro, con preferencias de alimentación a base de diatomeas frente a ciliados en condiciones normales, mientras que en ambientes turbulentos se invierten estas preferencias (Kjørboe *et al.*, 1996).

La Tabla 8 muestra las proporciones relativas del mesozooplankton respecto al microplankton. Esta relación parece indicar una fortísima presión de depredación en el interior del estuario, principalmente en St 25. En el exterior, en cambio, la biomasa relativa de microplankton respecto a la de mesozooplankton es mucho mayor.

Esta mayor biomasa relativa de mesozooplankton respecto a la de microplankton en el interior del estuario podría ser uno de los factores por los que la distribución de tamaños estuárica apenas presenta individuos que superen la clase de tamaño 6 (Figura 22). En St 25, la ausencia de esas clases de tamaño llama especialmente la atención, coincidiendo, además, con la mayor proporción de depredadores sobre el microplankton.

Tabla 8. Biomasa promedio de microplankton, mesozooplankton y respectivo cociente en  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ .

Biomasa ( $\text{mm}^3/\text{m}^3$ )	St 5	St 15	St 25	St 35
Microplankton (20-200 $\mu\text{m}$ )	251,765	133,930	51,148	7709,425
Mesozooplankton (200-2000 $\mu\text{m}$ )	364,032	294,306	798,847	11,619
$B_{\text{microplankton}}/B_{\text{mesozooplankton}}$	0,692	0,455	0,064	663,494

Estos datos parecen indicar una mayor presión de depredación sobre el microplankton en el interior del estuario (St 5, St 15 y St 25). Por otro lado, los altos valores de feofitina (pigmento que tiende a aumentar su concentración en relación con un aumento de la depredación debido a la rotura de células y su liberación), en la ZMTE (Tabla 3) apoyan la hipótesis de la existencia de cierta depredación en dicha zona.

Esta supuesta mayor depredación sobre el microplankton en el interior del estuario respecto a la estación exterior puede explicar por qué no se sigue la tendencia general de tamaños en estuarios ricos en nutrientes (como el ERG), donde existe una clara dominancia por células de mayor tamaño que se abastecen por las entradas antropogénicas de nutrientes (Cloern, 2018). Sin embargo, es necesario un estudio de tamaños más completo (especialmente en la desembocadura) para determinar el tamaño más abundante del cómputo total de células, sin tener en cuenta únicamente microplankton.

Los organismos que se dan en la estación externa (St 35) a partir de la clase de tamaño 6 (o sea, biovolumen mayor a  $10^6 \mu\text{m}^3$ ) son en su mayoría individuos pertenecientes a *Trieres*

*chinensis*, *Coscinodiscus wailesii*, *Coscinodiscus* sp., *Tripos furca* y *Globigerina* sp. y todos los individuos del dinoflagelado *Noctiluca scintillans*.

Para analizar si el biovolumen de microplancton a lo largo del estuario se asocia a productores o consumidores, se ha estudiado la relación de la biomasa entre los organismos del microplancton autótrofos respecto a los heterótrofos (Figura 18). Se observa que, la estación más interna, St 5, es la única que presenta un índice mayor a 1 (mayor biomasa de autótrofos), mientras que en el resto de las estaciones es mucho menor (St 15, St 25F) o cercano a la unidad o en equilibrio en la superficie de St 25 y, sobre todo, en la St 35 (calculado sin tener en cuenta la biomasa del gran dinoflagelado heterótrofo *Noctiluca scintillans*). Es decir, existe una mayor proporción de microplancton autótrofo respecto al heterótrofo en la estación de mayor turbidez y concentración de nutrientes (St 5). Esto sugiere que, paradójicamente, en la estación con mayor limitación por luz y, por tanto, menor producción esperable, es donde se localiza la mayor biomasa de productores primarios del microplancton en forma relativa.

La localización del máximo absoluto de Chl medida por fluorescencia en la ZMTE (St 5) (Figura 8) junto con las medidas de Chl realizadas sobre extractos (Tabla 3), dan lugar a descartar los errores instrumentales en la medida de la fluorescencia en las aguas turbias, sino que podría existir cierto aumento relativo de Chl en el interior del estuario. Estos aumentos en la concentración de Chl, así como los valores relativamente bajos de biomasa en el interior del estuario en comparación con la estación exterior (Figura 13) podría deberse a que la Chl es aportada por células de menor tamaño y/o a la fotoadaptación de las células del microplancton.

La relación Chl-*a*/Biomasa además de sugerir que células del microplancton almacenan más cantidad de Chl por unidad de biomasa (apartado 5.1. Ambiente lumínico en el estuario), también presta atención a la aportación de los organismos planctónicos del nanoplancton y picoplancton que contribuyen a mantener esta relación elevada a lo largo del gradiente, principalmente en St 5 y St 35, estaciones en las que la proporción del grupo de los tintínidos (microzooplancton depredador de esas clases de tamaño) no es tan alta (Tabla 4). En el resto de las estaciones, St 15 y St 25, la proporción de microfitoplancton se reduce frente a un aumento de los tintínidos, sugiriendo, nuevamente, que la Chl aportada se deba a los productores de menor tamaño. Es decir, parte de la Chl total a lo largo del ERG es aportada por productores primarios de menor tamaño, ya sea microplancton pequeño o bien pico y



nanoplancton que no han sido analizados en el presente estudio, pero sí por otros autores que han identificado la alta producción de éstos y, principalmente, por el grupo de las cianobacterias en el ERG (Cañavate *et al.*, 2019).

Además, la idea de la existencia de una mayor presión de depredadores sobre el microfitoplancton (menor biomasa y menor tamaño, Figura 13 y Figura 22) y una mayor producción de células de menor tamaño y fotoadaptadas parece darse principal, pero no únicamente en la ZMTE, sino también a lo largo del resto de estaciones estuáricas (St 5S, St 15 y St 25), a diferencia de la situación contraria en la estación externa (St 35), cuyo máximo de Chl (menos intenso que el localizado en la ZMTE) se debe a la alta biomasa total y proporción de autótrofos microplancónicos respecto a heterótrofos.

### **5.5. Distribución general de grupos taxonómicos en el gradiente estuárico**

El microplancton del ERG, en general, está dominado por el grupo de las diatomeas (principalmente en St 5, St 25 y St 35), seguido del grupo de los tintínidos (principalmente en St 15 y St 25). El resto de los grupos, presentan una mayor o menor importancia según la estación que se trate, pero siempre menor a los dos grupos anteriores (Tabla 4).

El pico máximo de Chl-*a* (Tabla 3) en la capa profunda de St 5 puede deberse a los procesos de acumulación y depredación en la ZMTE anteriormente descritos.

La Chl-*b* es típica de clorofitas (abundantes en aguas de menor salinidad) como *Pediastrum* o Euglenófitos, de los cuales, *Pediastrum simplex* tiene presencia prácticamente a lo largo de todo el estuario, aunque en general son más típicas del interior del ERG (Tabla 5). No obstante, la Chl-*b* únicamente se ha detectado en St 5 y St 25, pese a que se haya comprobado la presencia de organismos en todas las estaciones, mientras que en la estación en la que existe mayor porcentaje de contribución a la abundancia numérica (Tabla 4) de clorofitas y euglenófitos, no se llega a determinar concentración de Chl-*b*. Posiblemente se den estas irregularidades debido a que la biomasa (Figura 14, Figura 15) de estos grupos no ha sido suficientemente elevada para superar los límites de detección en la capa profunda de St 5 y en la estación St 15, a pesar de su relativa contribución numérica (Tabla 3), o a la aportación de organismos de menor tamaño principalmente en St 25, que no han sido cuantificados en el presente trabajo, como las cianobacterias.

Por otro lado, una elevada concentración de Chl-*c*, típica del grupo de las diatomeas y dinoflagelados, en St 5 y St 25 coincide con una mayor aportación de estos grupos en dichas estaciones (Tabla 4), pero el porcentaje de ésta es muy superior en la estación exterior (St 35), donde estos han de tener una importancia relativa mayor (Tabla 3). No obstante, el

porcentaje de contribución de la Chl-*c* es mucho mayor en la estación externa en comparación con el resto de las estaciones del interior del estuario.

Las estaciones St 15 y St 35 son las que presentan un mayor número de taxones, siendo menor en St 25 y casi la mitad en la estación más interna, St 5 (Figura 20, Figura 21). La mínima diversidad de microplancton en St 5 coincide con el mínimo propuesto por Remane (1934) para invertebrados de estuarios en el Báltico. Remane también propuso que las especies de agua dulce desaparecen en salinidades mayores a 15 ‰, mientras que las marinas son incapaces de tolerar salinidades menores a 3 ‰.

Sin embargo, los resultados obtenidos en el ERG discrepan con los publicados más recientemente para fitoplancton y zooplancton (Telesh y Khlebovich, 2010). Este estudio modifica el diagrama de Remane y propone que la abundancia máxima de estos grupos (fitoplancton y zooplancton) tiene lugar en las salinidades donde Remane proponía un mínimo para invertebrados, entre 5 ‰ y 8 ‰, debido a que es donde las especies de agua dulce y las marinas coinciden. La diferencia con los resultados obtenidos en el ERG podría ser debida a que la baja salinidad no es el único factor que determina la zona interna del estuario, sino que la turbidez presenta un gran peso limitando las especies a aquellas que estén mejor adaptadas a ambientes oscuros.

En el ERG se observa (Tabla 4, Tabla 5) una tendencia de las diatomeas a habitar las estaciones de mayor salinidad (St 25, St 35), o en su defecto, la totalidad del estuario, al igual que ocurre con el grupo de los dinoflagelados y silicoflagelados. Por el contrario, son únicamente las clorofitas las que presentan mayor presencia en las estaciones menos saladas (sin llegar a ausentarse del todo en St 35 debido a la amplia distribución de *Pediastrum simplex*) así como algunos tintínidos que, en su defecto, se muestran presentes a lo largo de todo el gradiente. Esta distribución con mayor diversidad de las especies marinas respecto a las de agua dulce coincide con la reconsideración reciente del modelo de Remane adaptado a ambientes estuáricos (Whitfield *et al.*, 2012). Esta adaptación indica que en general, la riqueza de las especies de agua dulce es menor a las marinas, la mayoría de las especies dulces no penetran en las aguas salinas en comparación con las marinas que se pueden extender a lo largo de todo el gradiente de salinidad con abundancias mucho mayores en las aguas saladas (como ocurre en el ERG, Tabla 5), y que los índices de diversidad comienzan a disminuir en salinidades muy altas (> 40 ‰) que no se detectan en el ERG.

En comparación con otros estudios taxonómicos llevados a cabo en el ERG como el de Cañavate *et al.* (2019), el grupo de las diatomeas son las que dominan todo el gradiente de salinidad, salvo St 15 donde predominan los tintínidos a diferencia del anterior estudio en el cual las diatomeas fueron dominantes a lo largo de todo el gradiente. Esta diferencia en la estación de salinidad 15 ‰ puede ser debida al método de cuantificación y el periodo de muestreo, ya que la cuantificación por Cañavate *et al.* (2019) fue llevada a partir de mediciones basadas en el análisis de ácidos grasos a lo largo de dos años (2013 – 2015), mientras que en el presente estudio fue llevada a partir de microscopía óptica durante el mes de mayo de un solo año (2017). Sin embargo, una mayor presencia de dinoflagelados a mayores salinidades y euglenofitas a menores, coincide. En otros estuarios cercanos como el del río Guadiana también el grupo de las diatomeas es el que representa la mayor fracción de la comunidad de fitoplancton (Domingues *et al.*, 2012). Así como en otros estuarios en África del sur o en Francia, en los cuales las diatomeas representan más del 80 % y 60 % de la abundancia total respectivamente (Dalu *et al.*, 2014; Jouenne *et al.*, 2007).

## 5.6. Inventario taxonómico

En relación con el inventario de taxones en el gradiente de salinidad en el ERG (Tabla 5), así como con el análisis de ordenación MDS (Figura 23) las especies se pueden clasificar en tres categorías: estuáricas (presentes principalmente en las aguas de menor salinidad, St 5, St 15 y fondo de St 25), de transición (superficie de St 25) y costeras – marinas (presentes en las aguas de mayor salinidad, St 35).

El CCA realizado a los taxones junto con las variables ambientales, incluyendo la salinidad (Figura 24), realiza una agrupación de especies en la que se puede observar una clara diferencia de las estuáricas (Grupo IV), las de transición (Grupo III) así como de las marinas (Grupo I y II).

Los taxones clasificados como estuáricos son: *Thalassiosira spp.*, *Cerataulus smithii*, *Nolacilus cf. bicornis*, *Dartintinnus sp.*, *Tintinnopsis baltica*, *T. nana*, *T. parvula*, *T. levigata*, *Pediastrum boryanum*, *P. simplex* y *Globigerina sp.* Respecto a *Nolacilus cf. bicornis*, coincide con la clasificación de otros autores como uno de los pocos tintínidos estrictamente estuáricos (Snyder y Brownlee, 1991). Por otro lado, se ha identificado la presencia relativamente abundante del género *Thalassiosira spp.* a lo largo de todo el gradiente. Sin embargo, al haberse identificado al menos dos especies distintas bajo

microscopía electrónica, queda por estudiar la preferencia de cada especie por un ambiente u otro.

Algunos de los taxones clasificados como de transición son: *Prorocentrum cordatum*, *Nitzschia sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, *Navicula sp.* y *Pleurosigma sp.*

Las especies marinas son: *Chaetoceros danicus*, *Dactyliosolen blavyanus*, *Guinardia delicatula*, *G. striata*, *Trieres chinensis*, *Thalassionema nitzschioides*, *Noctiluca scintillans* y *Dictyocha octonaria*.

Mediante el análisis SIMPER se estudia el porcentaje de contribución de las especies a la abundancia (Tabla 6) de cada estación mediante las especies tipificadoras. Se observa que los taxones que aportan mayor contribución (hasta un 30 % acumulado) en las estaciones estuáricas (St 5 y St 15), de transición (St 25) y costera – marina (St 35) coinciden con los anteriormente clasificados en las tres categorías (Figura 23, Figura 24). Sin embargo, los taxones tipificadores obtenidos a lo largo del gradiente difieren de los obtenidos por Cañavate *et al.* (2015) en el ERG en una situación de primavera, en la cual tan sólo 3 taxones (*Pleurosigma sp.*, *Thalassiosira sp.* y *Gymnodinium sp.*) aportan el 75 % de la contribución acumulada, posiblemente debido a que las condiciones favorecían el crecimiento de estos géneros respecto al resto.

*Thalassiosira spp.*, como se observa en la Tabla 5, domina en todo el gradiente de salinidad del ERG con importantes abundancias en St 5 y St 25 de más del 70 % y 30 % respectivamente (datos no mostrados), tanto en superficie como en profundidad, a diferencia del patrón que sigue este género en el río Vire (Francia), en el cual *Thalassiosira* domina únicamente la capa superficial (Bazin *et al.*, 2014b). Sin embargo, la aportación de las diatomeas en la desembocadura coincide en ambos estuarios (Guadalquivir y Vire), con más de un 80%, a diferencia de que las diatomeas pennadas dominan la boca del estuario del río Vire y las céntricas la boca del estuario del río Guadalquivir (Bazin *et al.*, 2014b). Por el contrario, diatomeas como *Thalassiosira pseudonana* o *Skeletonema costatum* (Bazin *et al.*, 2014a; Huang *et al.*, 2004) o clorofitas como *Scenedesmus sp.* toman mayor importancia en otros estuarios (Zhu *et al.*, 2015).

*Thalassiosira spp.*, además, es el único género clasificado en el ERG cuya presencia en las ZMTE ha sido identificada en distintos estuarios del mundo y que tiende a rodearse de partículas de sedimentos, posiblemente, para mantenerse en la zona rica en nutrientes y evitar su exportación hacia el mar, como ocurre con *T. eccentrica*, *T. angulata* o *T. decipiens*

(Cloern *et al.*, 1983; Hoppenrath *et al.*, 2007; Muylaert y Sabbe, 1996). Esto sugiere, junto con los altos valores de Chl-*a* (Tabla 3) y Chl por fluorescencia (Figura 8), que diversas especies de *Thalassiosira spp.* tienden a acumularse en la ZMTE del ERG por los procesos físicos mencionados previamente, coincidiendo con el aumento de los valores de turbidez que pueden llegar a máximos de 900 mg/l – 5000 mg/l de TSS (Caballero *et al.*, 2018; Navarro *et al.*, 2012; Ruiz *et al.*, 2013). Este hecho reforzaría el modelo de Díez-Minguito y de Swart (2020) a razón de las altas tasas de sedimentación de la Chl-*a* obtenidas, cuya hipótesis indica que la Chl-*a* en el ERG está relacionada con fitoplancton asociado a partículas de sedimento. Además de ser un componente importante en la comunidad del ERG, las especies del género *Thalassiosira* toman especial relevancia en las comunidades pelágicas de otros estuarios como el del río Helgoland o Sylt, en los cuales se han descrito más de 20 especies en cada uno (Hoppenrath *et al.*, 2007) de las aproximadamente 100 especies descritas actualmente (Park *et al.*, 2016). Y dominan distintos estuarios de Europa, como el del río Neretva, Elbe o Schelde, donde se han identificado más de 10 especies distintas (Jasprica *et al.*, 2012; Muylaert y Sabbe, 1999).

Otro género que merece especial mención es el dinoflagelado de gran tamaño *Noctiluca scintillans*. La acumulación de individuos de esta especie en St 35 origina un aumento de la biomasa de hasta 13 000 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Esta alta biomasa es comparable con la biomasa durante el otoño cerca estuario del río Pearl (China) con máximos de 7830 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (Zhang *et al.*, 2019). Pese a que *N. scintillans* aporta la mayor parte de la biomasa durante el periodo de muestreo en el ERG, tan sólo presenta una abundancia máxima de 213 cel./l, a diferencia de otros estuarios durante el mes de mayo en los cuales las máximas densidades de esta especie llegan hasta los 1340 cel./l (Munir *et al.*, 2013). Sin embargo, la alta contribución de *N. scintillans* a la biomasa total puede ser debida a que los días anteriores al muestreo en el ERG (23 y 24 de mayo de 2017) hubo un promedio de 20 km/h de velocidad del viento, incrementándose la velocidad media para los días de muestreo a más de 30 y 40 km/h respectivamente, así como las rachas máximas propasaron los 80 km/h los días anteriores y los 60 km/h los días del propio muestreo según los datos obtenidos a partir de la estación meteorológica de Cádiz ([www.datosclima.es](http://www.datosclima.es)). Se sospecha que estos vientos produjeron la acumulación del dinoflagelado *N. scintillans* en la boca del estuario, pese a que no se pueda confirmar esta hipótesis por falta de información más detallada sobre la dirección del viento.

Por otro lado, en el ERG citamos, por primera vez, el reciente género *Dartintinnus sp.*, que no resulta de poca importancia. Presenta una mayor abundancia en St 15 con 709 ind./m<sup>3</sup> y

de 467 ind./m<sup>3</sup> en St 5, mientras que en salinidades más altas la abundancia disminuye a 246 ind./m<sup>3</sup> en St 25F (datos no mostrados). Este patrón de distribución es similar al descrito en el río Thames (EE. UU.) donde se identificó por primera vez (Smith *et al.*, 2018) en un intervalo mesohalino de salinidad (entre 11 ‰ y 17 ‰) con una mayor abundancia entre 11 – 17 ‰ que entre 1 – 10 ‰.

Por otro lado, la mayoría de los tintínidos son marinos y menos frecuentes en aguas menos saladas (Smith *et al.*, 2018). Sin embargo, se ha observado una mayor diversidad y abundancia de tintínidos, principalmente por el género *Tininnopsis*, en las estaciones menos saladas durante el periodo muestreado en el ERG, donde este grupo ha sido poco estudiado. En general, las familias *Tintinnidae* y *Codonellidae* suelen dominar respecto a otras en los estuarios, al igual que en el ERG, esto ocurre en la Bahía de Chesapeake, EE.UU. (Dolan y Gallegos, 2001), en las costas de Hurghada, Egipto (Abou Zaid y Hellal, 2012), del río Pearl, China (Li *et al.*, 2019) o del río Hooghly, India (Rakshit *et al.*, 2014). Respecto a la distribución del tintínido *Nolaculus cf. bicornis*, más abundante en las zonas de máxima turbidez (St 5F y St 15F), sigue el mismo patrón que la comunidad identificada en el estuario del Río de la Plata, Argentina (Kogan, 2005).

Respecto al grupo de los foraminíferos, se han identificado durante el periodo muestreado, únicamente *Globigerina sp.* y *Textularia sp.* La primera se encuentra presente en todas las estaciones (salvo St 35) y la segunda únicamente en las muestras de fondo de St 5, St 15 y St 25. En el ERG han sido identificadas hasta 45 especies de foraminíferos, de los cuales *Textularia sagittula* únicamente se encuentra presente por las zonas cercanas al meandro, siendo nula su presencia en altas salinidades (González-Regalado *et al.*, 2019). Mientras que han sido identificadas en aguas más saladas de la Bahía de Cádiz, *Textularia earlandi*, que junto con *Bolivina ordinaria* y *B. sriatula* son unas de las especies que presentan mayor abundancia en la zona (Alexander, 2018). Estos foraminíferos bentónicos no pueden sobrevivir en condiciones de hipoxia que, en ocasiones, aparecen en los estuarios debido a la disminución de la solubilidad del oxígeno por un aumento en la salinidad y TSS, como por ejemplo ocurre con *Textularia* en el estuario de Beypore (Sreenivasulu *et al.*, 2019).

En total, se han identificado 105 taxones distintos a lo largo de todo el gradiente de salinidad en el ERG. Merecen, nuevamente, mención especial los géneros *Pleurosigma sp.* y *Thalassiosira spp.*, presentes en todas las muestras en el gradiente de salinidad durante el

periodo muestreado, coincidiendo, además, con los resultados obtenidos por otros autores (Cañavate *et al.*, 2015).

### **5.7. Distribución del microplancton en el gradiente de variables ambientales**

Durante el periodo de muestreo y, a lo largo del gradiente del ERG, se observan dos zonas claramente diferenciadas: una estuárica y otra costera – marina. La primera se sitúa en la zona interna del estuario, a bajas salinidades (St 5 – St 25), mientras que la segunda se sitúa a las salinidades más altas en la desembocadura (St 35). La zona estuárica, además, presenta dos ambientes: estuárico puro (St 5 y St 15) y de transición (St 35). A partir del inventario taxonómico (Tabla 5), se asocian determinados taxones a cada zona en base al análisis de ordenación MDS (Figura 23) y el CCA (Figura 24), en cuya separación se diferencian claramente que la salinidad es la que origina la identificación de estos tres ambientes distintos.

El ambiente de la zona puramente estuárica (St 5 y St 15) de baja salinidad (5 – 15 ‰, Figura 6) se caracteriza por la localización de la zona de confluencia de las masas de agua originando la acumulación de sedimentos y microorganismos, conocida como ZMTE. La acumulación es tal que los valores de turbidez en agua superan los 1800 NTU (Figura 7), disminuyendo la luz disponible para los procesos fotosintéticos. Por otro lado, la gran concentración de nutrientes sugiere que la productividad se ve limitada por dicha disponibilidad de luz. Sin embargo, el incremento del pH (principalmente en la ZMTE, Figura 11), un aumento de la Chl por fluorescencia (Figura 8) y Chl-*a* (Tabla 3) y un porcentaje de saturación de oxígeno mayor al 90 % (Figura 9), sugieren que podría existir una producción activa en la zona que sufre una mayor limitación por luz, posiblemente, por una adaptación de los organismos o del conjunto de la comunidad fotosintética a crecer en un ambiente de oscuridad. Por otro lado, esta zona es la que presenta una mayor biomasa relativa de productores primarios que de heterótrofos del microplancton (Figura 18). Por tanto, esta hipótesis se ve reforzada por la alta relación Chl-*a*/Biomasa (Figura 19), que indica la existencia de mayor concentración de Chl-*a* por unidad de biovolumen en estas estaciones, sugiriendo, por tanto, que los organismos presentan un mayor rendimiento fotosintético que en el resto del gradiente. Sin embargo, un menor tamaño de los organismos presentes en el ambiente puramente estuárico (Figura 22), sugiere que la elevada producción se podría mantener además de por una posible fotoadaptación, por una mayor depredación de células de mayor tamaño (como dinoflagelados y tintínidos), abundando principalmente, pequeñas diatomeas y diversas algas verdes. Por otro lado, una disminución

del microzooplancton (principalmente tintínidos depredadores de nanoplancton y picoplancton, Tabla 4) sugiere, además, una producción activa de órdenes inferiores al microplancton, principalmente por cianobacterias, tal y como indican otros autores (Cañavate *et al.*, 2019). Esta fotoadaptación y depredación selectiva explicarían la disminución de la riqueza específica y diversidad en el interior de la zona estuárica (Figura 20, Figura 21). Por otro lado, concentraciones de Chl-*a*, *b* y *c* presentes en St 5 y St 15 (Tabla 3) coincide con una alta abundancia de diatomeas, clorofitas y euglenófitos que caracterizan este ambiente (Figura 12). Algunos de estos taxones asociados al ambiente estuárico en función del CCA son: *Pediastrum boryanum*, *Cerataulus smithii*, *Tintinnopsis báltica* y, principalmente, *Thalassiosira spp.* Este último género, además, está asociado a ambientes de gran turbidez, como las ZMTE en especial, ya que tiende a rodearse de partículas de sedimento (Cloern *et al.*, 1983; Hoppenrath *et al.*, 2007; Muylaert y Sabbe, 1996), coincidiendo con los modelos del ERG en los que se indica que la Chl-*a* está relacionada con fitoplancton asociado a partículas de sedimento (Díez-Minguito y de Swart, 2020).

En la zona de transición (salinidades en torno a 25 ‰, Figura 6), sin embargo, los valores de turbidez (100 NTU, Figura 7) son mucho menores que los que caracterizan la zona puramente estuárica, pero relativamente altos, mientras que las constantes de semisaturación ( $K_s$ ) para el  $\text{PO}_4^{3-}$  de distintas diatomeas, podría llegar a ser limitante (Sala *et al.*, en preparación). De modo que esta zona de transición tanto la disponibilidad de luz y concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  (Tabla 2) serían susceptibles de limitar el crecimiento de los productores, principalmente en la capa profunda. De hecho, la biomasa de autótrofos microplanctónicos es equivalente a la de heterótrofos en la capa superficial (Figura 18). Esta zona presenta, por tanto, características intermedias entre el ambiente estuárico y el costero. Estas características en las variables se ven reflejadas en la distribución de especies (Figura 24), así como su tamaño (aumentando a medida que la presencia de especies marinas se hace mayor, Figura 22). La estación de transición, St 25, es la que presenta las concentraciones de Chl-*a*, *b* y *c* más equitativas (Tabla 3), revelando la presencia de diatomeas, dinoflagelados, tintínidos y clorofitas (Tabla 4). Es la estación en la que los organismos estuáricos disminuyen su presencia y se mezclan con los marinos, como por ejemplo *Prorocentrum cordatum* o *Pleurosigma sp.*, explicando la disminución de la riqueza de especies en este tramo (Tabla 5, Figura 20).



Por último, la zona costera – marina (St 35) se caracteriza por presentar aguas de gran salinidad (35 ‰, Figura 6) cuya transparencia (Figura 7) prácticamente es imposible que limite la producción primaria. No obstante, sí que se podría ver limitada por el  $\text{PO}_4^{3-}$ , ya que las concentraciones presentes en la desembocadura son próximas al límite inferior del necesario en función de las  $K_s$  de las diatomeas (Tabla 2). En este caso, dinoflagelados mixótrofos y tintínidos se verían favorecidos. De hecho, la biomasa de heterótrofos microplañctónicos es mucho mayor que la de autótrofos estrictos (Figura 18). Partiendo de las características más marinas de este ambiente y las altas concentraciones de Chl-*a* y principalmente de Chl-*c* (Tabla 3), se espera que los organismos que presenten mayor abundancia sean típicamente marinos, diatomeas y dinoflagelados, con una contribución menor o nula de organismos estuáricos, como las clorofitas (Tabla 5). Las especies asociadas a la zona de la desembocadura son las diatomeas *Chaetoceros danicus* o *Guinardia delicatula* y dinoflagelados de gran tamaño como *Noctiluca scintillans*, que explicaría el aumento de del biovolumen de los organismos en ambas estaciones que componen el ambiente costero (Figura 13).

Los resultados mostrados respecto a la variación de la estructura de la comunidad fitoplanctónica debida principalmente a la salinidad coincide con la obtenida de otros autores, principalmente en invierno, primavera y verano en el ERG (Cañavate *et al.*, 2019). La distribución de especies en el gradiente de salinidad del ERG también es comparable con la distribución a lo largo del río Elbe (Muylaert y Sabbe, 1999) y Schelde (Muylaert *et al.*, 2000; Muylaert *et al.*, 2009), en los que se observa una diferencia gradual en la composición del fitoplancton a lo largo de las zonas estuáricas, de transición y marinas, con una mayor importancia de diatomeas céntricas y pennadas en las aguas más marinas, diatomeas pennadas y algunas clorofitas en el ambiente de transición y, principalmente, clorofitas y euglenófitos en las aguas estuáricas. Esta clara ordenación en el gradiente de salinidad también ha sido observada en el Golfo de Nicoya (Seguro *et al.*, 2015), en la cual, los diferentes grupos taxonómicos toman mayor o menor importancia en función de la distancia de la desembocadura y según la estación.

## 6. CONCLUSIONES

1. Se identifica una zona en la que la turbidez es máxima (ZMTE), situada en el interior del estuario (St 5) donde existe una gran acumulación de sedimentos y organismos, y en la que los valores de Chl-*a* y Chl-*c* son máximos. En esta también se localizan, junto

con la estación profunda de St 35, los máximos valores de abundancia (4 veces más altos que el resto de las estaciones internas). Sin embargo, la biomasa de la capa profunda de St 35 es 30 veces mayor que en la ZMTE y el 80 % de la biomasa en la estación exterior es aportada por el dinoflagelado de gran tamaño *Noctiluca scintillans*.

2. Si no se tiene en cuenta la biomasa aportada por *N. scintillans* en St 35, las diatomeas *Trieres chinensis* y *Coscinodiscus sp.* aportan la mayor parte de la biomasa. Para el resto de las estaciones estuáricas, *Thalassiosira spp.* (St 5) y *Dartintinnus sp.* (St 15, St 25F) aportan la mayor parte de la biomasa.
3. La diversidad y riqueza específica, en general, aumenta desde el interior del estuario (0,74 en la capa superficial de St 5) hacia la desembocadura (2,7 en la capa superficial de St 15 y St 35), presentando una bajada en St 25 (1,78).
4. La relación entre la Chl-*a* y la biomasa del microplancton se mantiene muy elevada en las estaciones internas, respecto a las estaciones externas, donde dicha relación es muy baja. Esta relación sugiere que la fracción de autótrofos de la comunidad en el interior del estuario es más eficiente usando la luz, pudiendo estar fotoadaptada o manteniendo proporciones de taxones mayores en los que la relación Chl-*a*/B sea más alta que los localizados en la zona externa.
5. La relación entre la biomasa de los autótrofos microplancónicos respecto a los heterótrofos muestra que en la estación más interna del estuario (St 5) existe mayor proporción de autótrofos, a diferencia del resto de estaciones internas. Sin embargo, la proporción de autótrofos respecto a heterótrofos es equivalente en el exterior (St 35).
6. Se identifican dos gradientes cruzados en el tamaño del microplancton. En las capas profundas se localiza microplancton de tamaño mayor respecto a las capas superficiales, posiblemente por una mayor tendencia de sedimentación de las células más grandes. Por otro lado, desde el interior hasta la desembocadura el promedio y el intervalo total de tamaños del microplancton va en aumento, llegando a detectarse de forma relevante células con biovolúmenes mayores a  $10^6 \mu\text{m}^3$  únicamente en St 35. Este cambio de estructura del tamaño del estuario a la desembocadura podría deberse a que existe una mayor presión de depredación de las células más grandes por parte del mesozooplancton en las estaciones internas del estuario, en comparación con las marinas, como parecen indicar las proporciones relativas de biomasa de microplancton a mesoplancton.

7. La producción primaria en las estaciones internas del estuario (St 5 y St 15) parece estar limitada por la disponibilidad de luz debido a la alta turbidez. La estación más marina, St 35, se podría ver limitada por la escasez de P, mientras que la estación intermedia, St 25, se podría ver limitada por ambos factores: turbidez y/o disponibilidad de P.
8. En general, el grupo de las diatomeas presenta mayor porcentaje de contribución a la abundancia numérica de la comunidad microplanctónica en el ERG. La aportación es mayor al 87 % en St 5 y St 35, y mayor al 33 % en St 15 y St 25, seguido del grupo de los tintínidos, principalmente en estas dos últimas estaciones, con un 52 % y 23 %, respectivamente.
9. Se presenta un inventario taxonómico con 105 taxones distintos descritos, de los cuales se han identificado 45 a nivel de especie, 47 a nivel de género y 12 no se han podido identificar con exactitud. El inventario incluye especies no citadas anteriormente en el ERG como *Nolacilus cf. bicornis*, y otras que probablemente sean especies aún no descritas para la Ciencia, como *Dartintinnus sp.*
10. A partir de un análisis de ordenación y un análisis de correspondencia canónica se hace posible la clasificación de los taxones en tres categorías en función de la salinidad, principal factor que origina las diferencias. Las estaciones St 5, St 15 y la capa profunda de St 25 se clasificarían como estuáricas (E), en las que predominan taxones como *Thalassiosira spp.*, *Cerataulus smithii*, *Nolacilus cf. bicornis* o *Dartintinnus sp.* La capa superficial de St 25 se clasifica como de transición (T), con taxones como *Prorocentrum cordatum*, *Nitzschia sp.* o *Pleurosigma sp.* Las dos capas de St 35 se clasificarían como costeras – marinas (CM) en las que predominan *Chaetoceros danicus*, *Trieres chinensis* o *Noctiluca scintillans*.
11. Si no se tiene en cuenta el factor salinidad, el amonio es la principal variable que parece ordenar la distribución de especies. Las estaciones estuáricas únicamente presentan menores valores de amonio en comparación con el resto de las variables (turbidez, MO, Chl-*a*, Si y PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Las costeras – marinas presenta los valores más bajos de las anteriores variables, mientras que la de transición presenta los valores intermedios. La clasificación de los taxones coincide con la separación en función de la salinidad.

## REFERENCIAS

- Abou Zaid, M. M., y Hellal, A. M. (2012). Tintinnids (Protozoa: Ciliata) from the coast of Hurghada Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38 (4), 249-268. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2013.01.003>
- Alexander, O. (2018). Benthic foraminiferal distribution influenced by rivers on the northern Gulf of Cadiz continental shelf. [Tesis de Máster, Universidade do Algarve].
- Álvarez, O., Tejedor, B., y Vidal, J. (2001). La dinámica de marea en el estuario del Guadalquivir: Un caso peculiar de resonancia antrópica. *Física de la Tierra*, 13, 11-24.
- Bazin, P., Jouenne, F., Deton-Cabanillas, A. F., Pérez-Ruzafa, Á., y Véron, B. (2014a). Complex patterns in phytoplankton and microeukaryote diversity along the estuarine continuum. *Hydrobiologia*, 726 (1), 155-178. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1761-9>
- Bazin, P., Jouenne, F., Friedl, T., Deton-Cabanillas, A. F., Le Roy, B., y Véron, B. (2014b). Phytoplankton diversity and community composition along the estuarine gradient of a temperate macrotidal ecosystem: Combined morphological and molecular approaches. *PLOS ONE*, 9(4), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094110>
- Caballero, I., y Navarro, G. (2016). Análisis multisensor para el estudio de los patrones de turbidez en el estuario del Guadalquivir. *Revista de Teledetección*, 46, 1-17. <https://doi.org/10.4995/raet.2016.5717>
- Caballero, I., Steinmetz, F., y Navarro, G. (2018). Evaluation of the first year of operational Sentinel-2A data for retrieval of suspended solids in medium- to high-turbiditywaters. *Remote Sensing*, 10 (7). <https://doi.org/10.3390/rs10070982>
- Cañavate, J. P., Pérez-Gavilan, C., Mazuelos, N., y Manchado, M. (2015). Flushing-related changes of phytoplankton seasonal assemblages in marsh ponds of the warm temperate Guadalquivir river estuary (SW Spain). *Hydrobiologia*, 744(1), 15-33. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2051-x>
- Cañavate, J. P., van Bergeijk, S., Giráldez, I., González-Ortegón, E., y VÍlas, C. (2019). Fatty acids to quantify phytoplankton functional groups and their spatiotemporal dynamics in a highly turbid estuary. *Estuaries and Coasts*, 42(8), 1971-1990. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00629-8>
- Clesceri, L. S., Eaton, A. D., Greenberg, A. E., Franson, M. A. H., Association., A. P. H., Association., A. W. W., y Federation., W. E. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association.
- Cloern, J. E. (1987). Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Research*, 7 (11/12), 1367-1381. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(87\)90042-2](https://doi.org/10.1016/0278-4343(87)90042-2)
- Cloern, J. E. (2018). Why large cells dominate estuarine phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 63, S392-S409. <https://doi.org/10.1002/lno.10749>
- Cloern, J. E., Alpine, A. E., Cole, B. E., Wong, R. L. J., Arthur, J. F., y Ball, M. D. (1983). River discharge controls phytoplankton dynamics in the northern San Francisco Bay estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16 (4), 415-429. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(83\)90103-8](https://doi.org/10.1016/0272-7714(83)90103-8)

- Cloern, J. E., Jassby, A. D., Schraga, T. S., Nejad, E., y Martin, C. (2017). Ecosystem variability along the estuarine salinity gradient: Examples from long-term study of San Francisco Bay. *Limnology and Oceanography*, 62, S272-S291. <https://doi.org/10.1002/lno.10537>
- Contreras, E., y Polo, M. J. (2012). Measurement frequency and sampling spatial domains required to characterize turbidity and salinity events in the Guadalquivir estuary (Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 2581-2589. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-2581-2012>
- Dalu, T., Froneman, P. W., y Richoux, N. B. (2014). Phytoplankton community diversity along a river-estuary continuum. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 69 (2), 1-10. <https://doi.org/10.1080/0035919x.2014.930074>
- Day Jr., J. W., Yáñez-Arancibia, A., Kemp, W. M., y Crump, B. C. (2012). Chapter One: Introduction to estuarine ecology en *Estuarine Ecology* (2ª Ed., pp. 1-20). <https://doi.org/10.2307/1351438>
- Díez-Minguito, M., Baquerizo, A., de Swart, H. E., y Losada, M. A. (2014). Structure of the turbidity field in the Guadalquivir estuary: Analysis of observations and a box model approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119 (10), 7190-7204. <https://doi.org/10.1002/2014JC010210>
- Díez-Minguito, M., Baquerizo, A., Ortega-Sánchez, M., Navarro, G., y Losada, M. A. (2012). Tide transformation in the Guadalquivir estuary (SW Spain) and process-based zonation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117 (3), 1-14. <https://doi.org/10.1029/2011JC007344>
- Díez-Minguito, M., y de Swart, H. E. (2020). Relationships between shlorophyll-*a* and Suspended sediment concentration in a high-nutrient load estuary: An observational and idealized modeling approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125 (3). <https://doi.org/10.1029/2019JC015188>
- Dolan, J. R., y Gallegos, C. (2001). Estuarine diversity of tintinnids (planktonic ciliates). *Journal of Plankton Research*, 23 (9), 1009-1027. <https://doi.org/10.1093/plankt/23.9.1009>
- Domingues, R. B., Barbosa, A. B., Sommer, U., y Galvão, H. M. (2012). Phytoplankton composition, growth and production in the Guadiana estuary (SW Iberia): Unraveling changes induced after dam construction. *Science of the Total Environment*, 416, 300-313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.043>
- Elser, J. J., Bracken, M. E. S., Cleland, E. E., Gruner, D. S., Harpole, W. S., Hillebrand, H., ... Smith, J. E. (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10(12), 1135-1142. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x>
- French, P. W. (1997). Coastal and estuarine management. Taylor and Francis e-Library
- Ganser, M. H., y Agatha, S. (2019). Redescription of *Antetintinnidium mucicola* (Claparède and Lachmann, 1858) nov. gen., nov. comb. (Alveolata, Ciliophora, Tintinnina). *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 66 (5), 802-820. <https://doi.org/10.1111/jeu.12728>
- González-Ortegón, E., y Drake, P. (2012). Effects of freshwater inputs on the lower trophic levels of a temperate estuary: physical, physiological or trophic forcing? *Aquatic Sciences*, 74(3), 455-469. <https://doi.org/10.1007/s00027-011-0240-5>

- González-Regalado, M. L., Carro, B., Arroyo, M., Ruíz, F., Borrego, J., Abad, M., ... Mara García, E. X. (2019). Distribution of benthic foraminifera in the marine estuary of the Guadalquivir river (SW Spain): A preliminary report. *Oceanography and Fisheries Open access Journal*, 9(2), 1-6. <https://doi.org/10.19080/foaj.2019.09.555759>
- Hazen, A. (1899). The clarification of river waters. *Journal of the Franklin Institute of state of Pennsylvania, for the promotion of the mechanic arts.*, 3, 177-197
- Hillebrand, H., Dürselen, C. D., Kirschtel, D., Pollinger, U., y Zohary, T. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35 (2), 403-424. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x>
- Hobro, R., y Willén, E. (1977). Phytoplankton countings. Intercalibration results and recommendations for routine work. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 62 (6), 805-811. <https://doi.org/10.1002/iroh.1977.3510620605>
- Hoppenrath, M., Beszteri, B., Drebes, G., Halliger, H., Beusekom, J. E. E. Van, Janisch, S., y Wiltshire, K. H. (2007). *Thalassiosira* species (Bacillariophyceae, Thalassiosirales) in the North Sea at Helgoland (German Bight) and Sylt (North Frisian Wadden Sea) – a first approach to assessing diversity. *European Journal of Phycology*, 42 (3), 271-288. <https://doi.org/10.1080/09670260701352288>
- Huang, L., Jian, W., Song, X., Huang, X., Liu, S., Qian, P., ... Wu, M. (2004). Species diversity and distribution for phytoplankton of the Pearl River estuary during rainy and dry seasons. *Marine Pollution Bulletin*, 49 (7-8), 588-596. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.03.015>
- Huisman, J., y Welssing, F. J. (1999). Biodiversity of plankton by species oscillations and chaos. *Nature*, 402 (6760), 407-410. <https://doi.org/10.1038/46540>
- IFAPA. (2016). Actividades de I+D llevadas a cabo en el ámbito del estudio científico sobre la reserva de pesca de la desembocadura del río Guadalquivir durante el año 2016. Comisión seguimiento 23 diciembre 2016 Sevilla. Reserva de pesca de la desembocadura del río Guadalquivir, Junta de Andalucía.
- Jasprica, N., Carić, M., Kršinić, F., Kapetanović, T., Batistić, M., y Njire, J. (2012). Planktonic diatoms and their environment in the lower Neretva River estuary. *Nova Hedwigia, Beiheft*, 141, 405-430
- Joint, I. R., y Pomroy, A. J. (1981). Primary production in a turbid estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 13 (3), 303-316. [https://doi.org/10.1016/S0302-3524\(81\)80028-X](https://doi.org/10.1016/S0302-3524(81)80028-X)
- Jouenne, F., Lefebvre, S., Véron, B., y Lagadeuc, Y. (2007). Phytoplankton community structure and primary production in small intertidal estuarine-bay ecosystem (eastern English Channel, France). *Marine Biology*, 151 (3), 805-825. <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0440-z>
- Justić, D., Rabalais, N. N., Turner, R. E., y Dortch, Q. (1995). Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40, 339-356. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(05\)80014-9](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(05)80014-9)
- Karleskint, G. J., Turner, R., y Small, J. W. J. (2006). *Introduction to Marine Biology*. (Third Ed.)
- Kjørboe, T., Saiz, E., y Viitasalo, M. (1996). Prey switching behaviour in the planktonic copepod *Acartia tonsa*.

- Kogan, M. (2005). Estudio de la composición específica, abundancia y distribución del microzooplancton (protozoos y micrometazoos) en el estuario del Río de la Plata (Argentina-Uruguay). [Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires]. <http://hdl.handle.net/1834/2598>
- Lancelot, C., y Muylaert, K. (2011). Trends in estuarine phytoplankton ecology. En *Treatise on Estuarine and Coastal Science* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00703-8>
- Li, H., Wang, C., Liang, C., Zhao, Y., Zhang, W., Grégori, G., y Xiao, T. (2019). Diversity and distribution of tintinnid ciliates along salinity gradient in the Pearl River Estuary in southern China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226, 106268. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106268>
- Lorenzen, C. J. (1967). Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12, 343-346. [https://doi.org/https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343](https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343)
- Losada, M. A., Díez-Minguito, M., y Reyes-Merlo, M. Á. (2017). Tidal-fluvial interaction in the Guadalquivir River Estuary: Spatial and frequency-dependent response of currents and water levels. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122, 847-865. <https://doi.org/10.1002/2016JC011984>
- Maynard, N. M., y Biggs, R. B. (1985). Estuaries. En R. A. Davis (Ed.), *Coastal Sedimentary Environments* (pp. 77-186).
- Munir, S., Naz, T., Burhan, Z. U. N., Siddiqui, P. J. A., y Morton, S. L. (2013). Seasonal abundance, biovolume and growth rate of the heterotrophic dinoflagellate (*Noctiluca scintillans*) from coastal waters of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 45 (3), 1109-1113.
- Muylaert, K., y Sabbe, K. (1996). The diatom genus *Thalassiosira* (Bacillariophyta) in the estuaries of the Schelde (Belgium/The Netherlands) and the Elbe (Germany). *Botanica Marina*, 39 (2), 103-115. <https://doi.org/10.1515/botm.1996.39.1-6.103>
- Muylaert, K., Sabbe, K., y Vyverman, W. (2000). Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater tidal estuary (Schelde, Belgium). *Estuaries, Coastal and Shelf Science*, 50, 673-687. <https://doi.org/10.1053/ecss.2000.0590>
- Muylaert, K., y Sabbe, K. (1999). Spring phytoplankton assemblages in and around the maximum turbidity zone of the estuaries of the Elbe (Germany), the Schelde (Belgium/The Netherlands) and the Gironde (France). *Journal of Marine Systems*, 22, 133-149. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(99\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(99)00037-8)
- Muylaert, K., Sabbe, K., y Vyverman, W. (2009). Changes in phytoplankton diversity and community composition along the salinity gradient of the Schelde estuary (Belgium/The Netherlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82 (2), 335-340. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.01.024>
- Navarro, G., Gutiérrez, F. J., Díez-Minguito, M., Losada, M. A., y Ruiz, J. (2011). Temporal and spatial variability in the Guadalquivir estuary: A challenge for real-time telemetry. *Ocean Dynamics*, 61 (6), 753-765. <https://doi.org/10.1007/s10236-011-0379-6>

- Navarro, G., Huertas, I. E., Costas, E., Flecha, S., Díez-Minguito, M., Caballero, I., ... Ruiz, J. (2012). Use of a Real-Time Remote Monitoring Network (RTRM) to characterize the Guadalquivir Estuary (Spain). *Sensors*, 12 (2), 1398-1421. <https://doi.org/10.3390/s120201398>
- Neves, R., Baretta, J., y Mateus, M. (Eds.). (2008). Basic concepts of estuarine ecology. En *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America* (pp. 2-14). <https://doi.org/10.13140/2.1.4497.0562>
- Olenina, I., Hajdu, S., Elder, L., Andersoon, A., Wasmund, N., Busch, S., ... Neimkiewicz, E. (2006). *Biovolumes and Size-Classes of Phytoplankton in the Baltic Sea*. En *HELCOM Balt. Sea Environ. Proc.* (Vol. 106). <http://www.helcom.fi/Lists/Publications/BSEP106.pdf>
- Paasche, E. (1968). Marine plankton algae grown with light-dark cycles. II. *Ditylum brightwellii* and *Nitzschia turgidula*. *Physiologia Plantarum*, 21, 66-77. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1968.tb07231.x>
- Park, J. S., Jung, S. W., Lee, S. D., Yun, S. M., y Lee, J. H. (2016). Species diversity of the genus *Thalassiosira* (Thalassiosirales, Bacillariophyta) in South Korea and its biogeographical distribution in the world. *Phycologia*, 55 (4), 403-423. <https://doi.org/10.2216/15-66.1>
- Passow, U., y Alldredge, A. L. (1994). Distribution, size and bacterial colonization of transparent exopolymer particles (TEP) in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 113 (1-2), 185-198. <https://doi.org/10.3354/meps113185>
- Prézelin, B. B., y Alberte, R. S. (1978). Photosynthetic characteristics and organization of chlorophyll in marine dinoflagellates. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 75(4), 1801-1804. <https://europepmc.org/backend/ptpmcrender.fcgi?accid=PMC392428&blobtype=pdf>
- Prieto, L., Navarro, G., Cózar, A., Echevarría, F., y García, C. M. (2006). Distribution of TEP in the euphotic and upper mesopelagic zones of the southern Iberian coasts. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53 (11-13), 1314-1328. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2006.03.009>
- Prieto, L., Navarro, G., Rodríguez-Gálvez, S., Huertas, I. E., Naranjo, J. M., y Ruiz, J. (2009). Oceanographic and meteorological forcing of the pelagic ecosystem on the Gulf of Cadiz shelf (SW Iberian Peninsula). *Continental Shelf Research*, 29 (17), 2122-2137. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.08.007>
- Rakshit, D., Biswas, S. N., Sarkar, S. K., Bhattacharya, B. D., Godhantaraman, N., y Satpathy, K. K. (2014). Seasonal variations in species composition, abundance, biomass and production rate of tintinnids (Ciliata: Protozoa) along the Hooghly (Ganges) River Estuary, India: A multivariate approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186 (5), 3063-3078. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3601-9>
- Redfield, A. C. (1934). On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. En *James Johnstone Memorial Volume, University Press of Liverpool*. Reino Unido, 176-192.
- Rivera-González, M. D. C., y Sánchez-Castillo, P. M. (2011). Diatomeas planctónicas del litoral de Andalucía (España). *Acta Botánica Malacitana*, 36, 5-31. Recuperado de [http://www.bioveg.uma.es/abm/Volumenes/vol36/36\\_Rivera-Gonzalez.pdf](http://www.bioveg.uma.es/abm/Volumenes/vol36/36_Rivera-Gonzalez.pdf)



- Rochelle-Newall, E. J., Chu, V. T., Pringault, O., Amouroux, D., Arfi, R., Bettarel, Y., ... Torréton, J.-P. (2011). Phytoplankton diversity and productivity in a highly turbid, tropical coastal system (Bach Dang Estuary, Vietnam). *Biogeosciences Discussions*, 8, 487-525. <https://doi.org/10.5194/bgd-8-487-2011>
- Ruíz, J., y Losada, M. A. (2010). Capítulo 7: Ciclos biogeoquímicos del estuario: Impacto sobre la Biot, la Biodiversidad y la Toxicidad. En *Propuesta metodológica para diagnosticar y pronosticar las consecuencias de las actuaciones humanas en el estuario del Guadalquivir* (pp. 1-56).
- Ruíz, J., Macías, D., Losada, M. A., Díez-Minguito, M., y Prieto, L. (2013). A simple biogeochemical model for estuaries with high sediment loads: Application to the Guadalquivir River (SW Iberia). *Ecological Modelling*, 265, 194-206. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.06.012>
- Ruíz, J., Macías, D., y Navarro, G. (2017). Natural forcings on a transformed territory overshoot thresholds of primary productivity in the Guadalquivir estuary. *Continental Shelf Research*, 148, 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.09.002>
- Sala, I., García, C. M., López-Urrutia, A., Bartual, A., González-García, C., Bolado-Penagos, M., Lubián, L. M., y Echevarría, F., (en preparación). Plankton distribution and metabolic balances in a region highly connected by hydrodynamic processes (Strait of Gibraltar - Alborán Sea): A Metabolic Theory approach.
- Seguro, I., García, C. M., Papaspyrou, S., Gálvez, J. A., García-Robledo, E., Navarro, G., ... Corzo, A. (2015). Seasonal changes of the microplankton community along a tropical estuary. *Regional Studies in Marine Science*, 2, 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2015.10.006>
- Shannon, C. E., y Weaver, W. (1964). *The mathematical theory of communication*. Urbana: The University of Illinois Press, 125pp.
- Smayda, T. J. (1997). Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnology and Oceanography*, 42(5, II), 1137-1153. [https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5\\_part\\_2.1137](https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1137)
- Smith, S. A., Song, W., Gavrilova, N. A., Kurilov, A. V., Liu, W., McManus, G. B., y Santoferrara, L. F. (2018). *Dartintinnus alderae* n. g., n. sp., a Brackish Water Tintinnid (Ciliophora, Spirotrichea) with dual-ended lorica collapsibility. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 0, 1-12. <https://doi.org/10.1111/jeu.12485>
- Snyder, y Brownlee. (1991). *Nolaclusilis bicornis* N.G., N.Sp. (Tintinnina: Tintinnidiidae): A Tintinnine ciliate with novel lorica and cell morphology from the Chesapeake Bay Estuary. *The Journal of protozoology*, 38, 583-589
- Sreenivasulu, G., Praseetha, B. S., Daud, N. R., Varghese, T. I., Prakash, T. N., y Jayaraju, N. (2019). Benthic foraminifera as potential ecological proxies for environmental monitoring in coastal regions: A study on the Beypore estuary, Southwest coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 341-351. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.058>
- Sun, J., y Liu, D. (2003). Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 25 (11), 1331-1346. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbg096>

- Suthers, I. M., y Rissik, D. (Eds.). (2009). Plankton: a guide to their ecology and monitoring for water quality. CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2012.02360.x>
- Talling, J. F., y Driver, D. (1963). *Some Problems in the Estimation of Chlorophyll-a in Phytoplankton*. Proceedings of the Conference of Primary Productivity Measurement, Marine and Freshwater, University of Hawaii, Honolulu, Atomic Energy Commission TID-7633, 142-146.
- Telesh, I. V., y Khlebovich, V. V. (2010). Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 61, 149-155. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.02.008>
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen*, 9(1), 1-38. <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>
- Vinh, V. D., Ouillon, S., y Van Uu, D. (2018). Estuarine Turbidity Maxima and variations of aggregate parameters in the Cam-Nam Trieu estuary, North Vietnam, in early wet season. *Water*, 10, 1-33. <https://doi.org/10.3390/w10010068>
- Webb, P. (2019). Introduction to Oceanography. Rebus Community. <http://rwu.pressbooks.pub/webboceanography>
- Wolanski, E. (2007). *Estuarine Ecohydrology* (1ª Edición). Elsevier B.V.
- Wolanski, E., Andutta, F., y Delhez, E. (2013). Estuarine Hydrology. *Encyclopedia of Coastal Science Series*, 238-249. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6>
- Zhang, W., Sun, X., Zheng, S., Zhu, M., Liang, J., Du, J., y Yang, C. (2019). Plankton abundance, biovolume, and normalized biovolume size spectra in the northern slope of the South China Sea in autumn 2014 and summer 2015. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 167, 79-92. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.07.006>
- Zhu, Z. Y., Liu, S. M., Wu, Y., Li, Y., Zhang, J., y Hu, J. (2015). Phytoplankton dynamics and its further implication for particulate organic carbon in surface waters of a tropical/subtropical estuary. *Estuaries and Coasts*, 38 (3), 905-916. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9866-6>

## Páginas Web

- Karlson, B., Andreasson, A., Johansen, M., Karlberg, M., Loo, A., Skjevik, A-T., 2018. Nordic Microalgae. World-wide electronic publication. Recuperado de <http://nordicmicroalgae.org>.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a partir de *Base de datos Meteorológica*. Recuperado de <https://datosclima.es/>

## Apéndice A: Fotografías de los organismos del microplancton en el Estuario del Río Guadalquivir

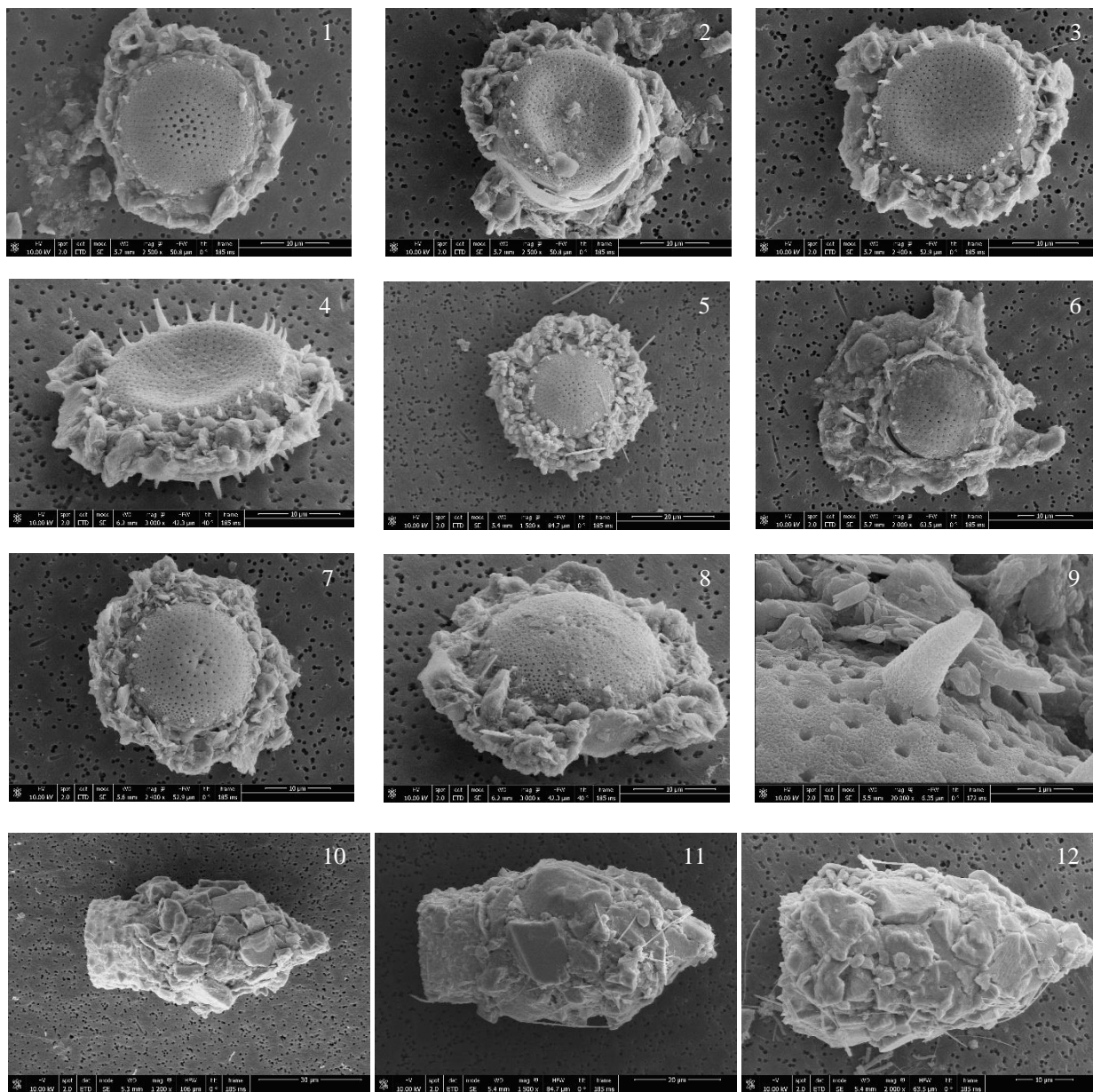


Figura 1. Fotografías a partir de microscopía electrónica de barrido: 1 – 8 (*Thalassiosira* spp.), 9 (Protuberancia de *Thalassiosira* spp.), 10 – 12 (*Tintinnopsis parvula*)

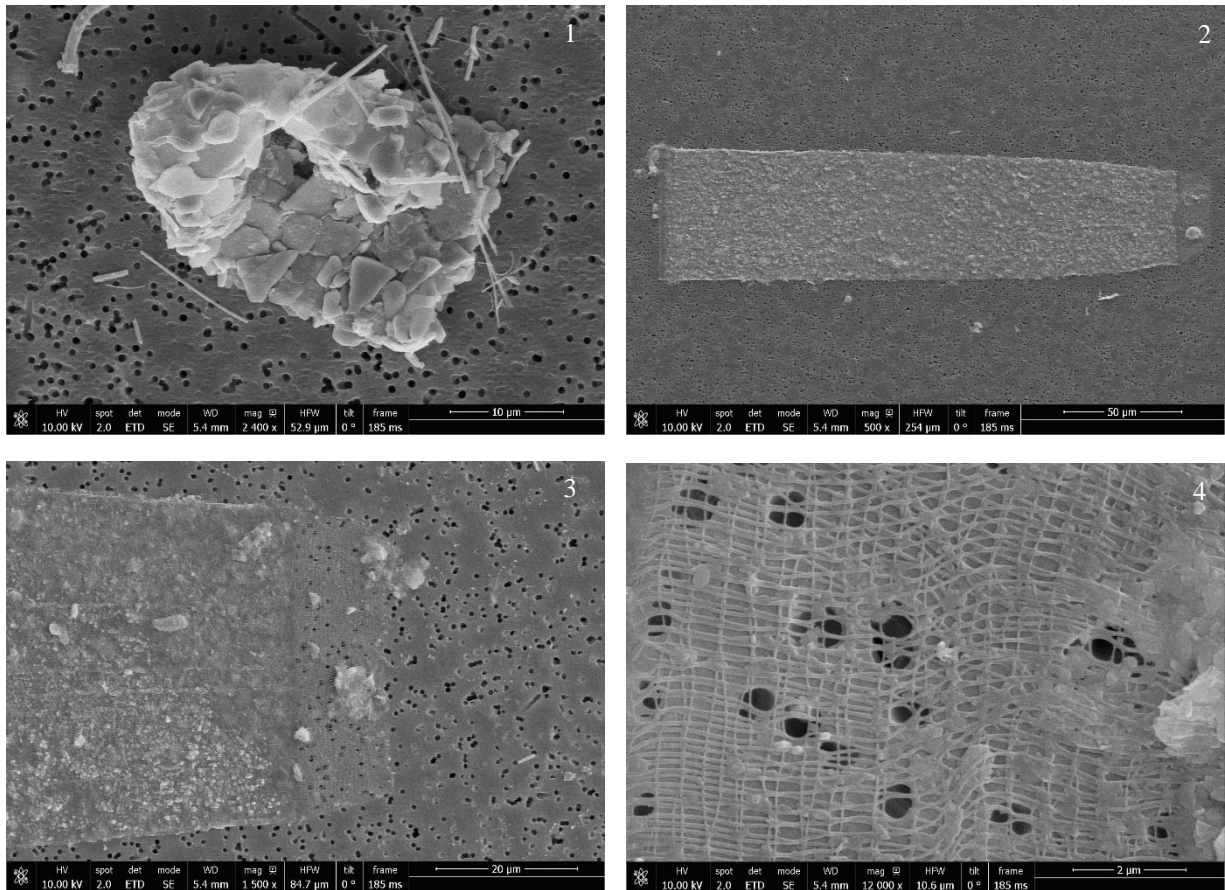
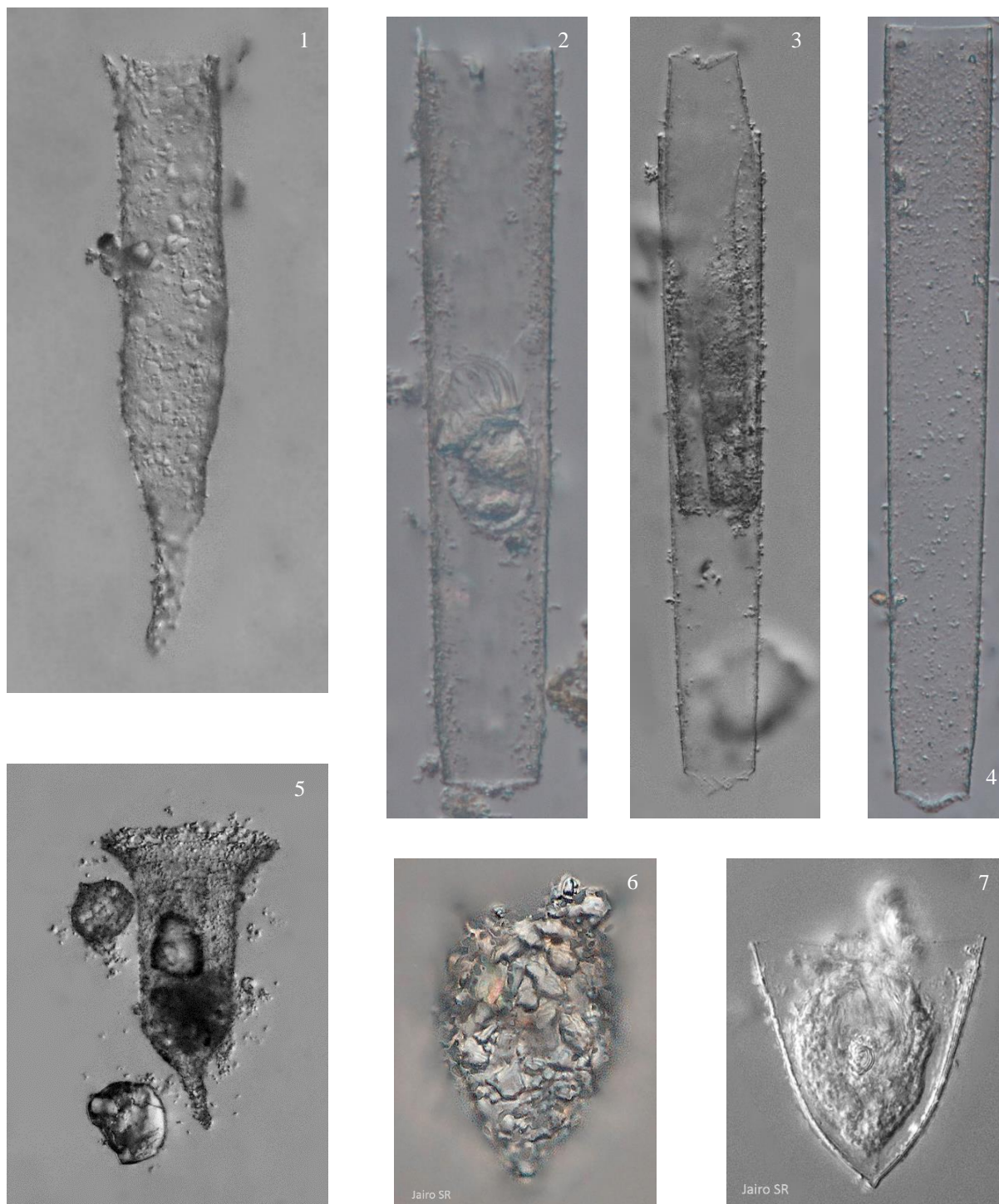


Figura 2. Fotografías a partir de microscopía electrónica de barrido: 1 (*Tintinnopsis nana*.), 2 (*Dartintinnus sp.*), 3 – 4 (zona aboral de *Dartintinnus sp.*)



**Figura 3.** Fotografías a partir de microscopía óptica invertida: 1 (*Tintinnopsis coronata*), 2 – 4 (*Dartintinnus* sp.), 5 (*Tintinnopsis campanula*), 6 (*Tintinnopsis baltica*), 7 (*Nolaculus* cf. *bicornis*)



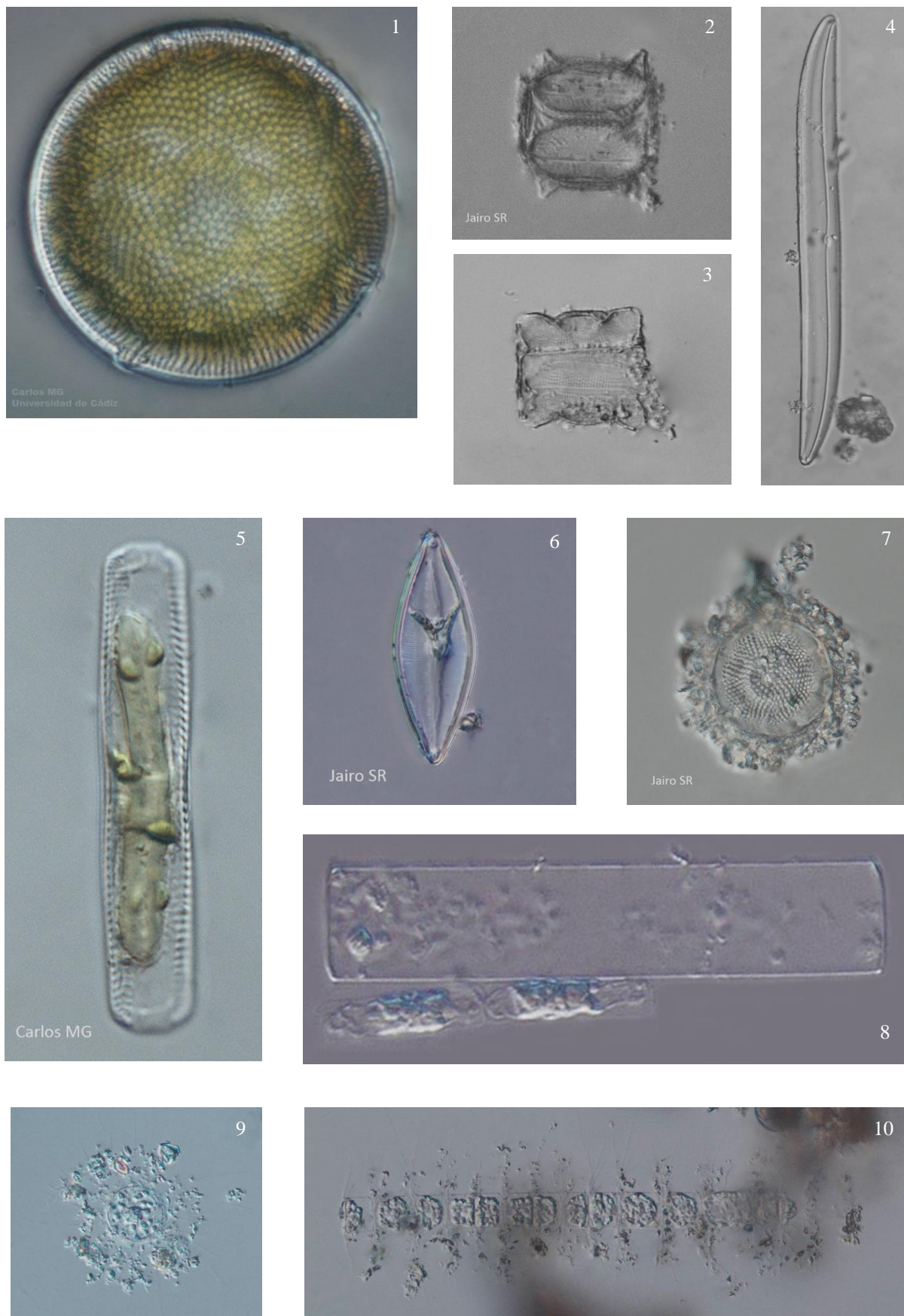


Figura 4. Fotografías a partir de microscopía óptica invertida: 1 (*Coscinodiscus jonesianus*), 2 (*Cerataulus smithii*), 3 (*Biddulphia* sp.), 4 (*Pleurosigma* sp.), 5 (*Nitzschia* sp.), 6 (*Navicula* sp.), 7 (*Thalassiosira* spp.), 8 (*Guinardia* cf. *flaccida*), 9 – 10 (*Bacteriastrum* sp.)

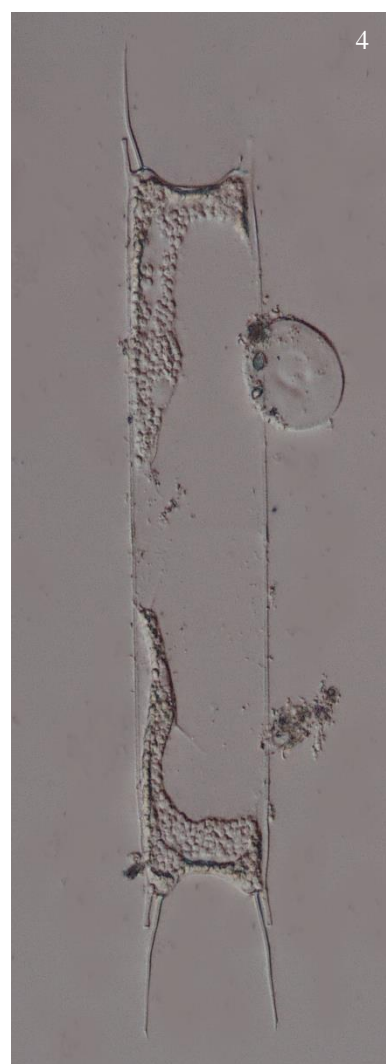
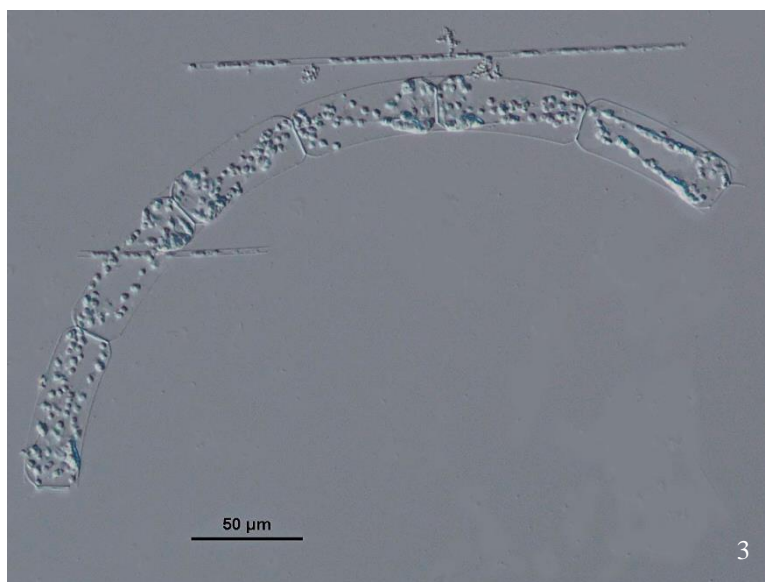


Figura 5. Fotografías a partir de microscopía óptica invertida: 1 – 2 (*Coscinodiscus wailesii*), 3 (*Guinardia striata.*), 4 (*Trieres chinensis*), 5 (*Eucampia zodiacus.*), 6 (*Thalassionema nitzschioides*)



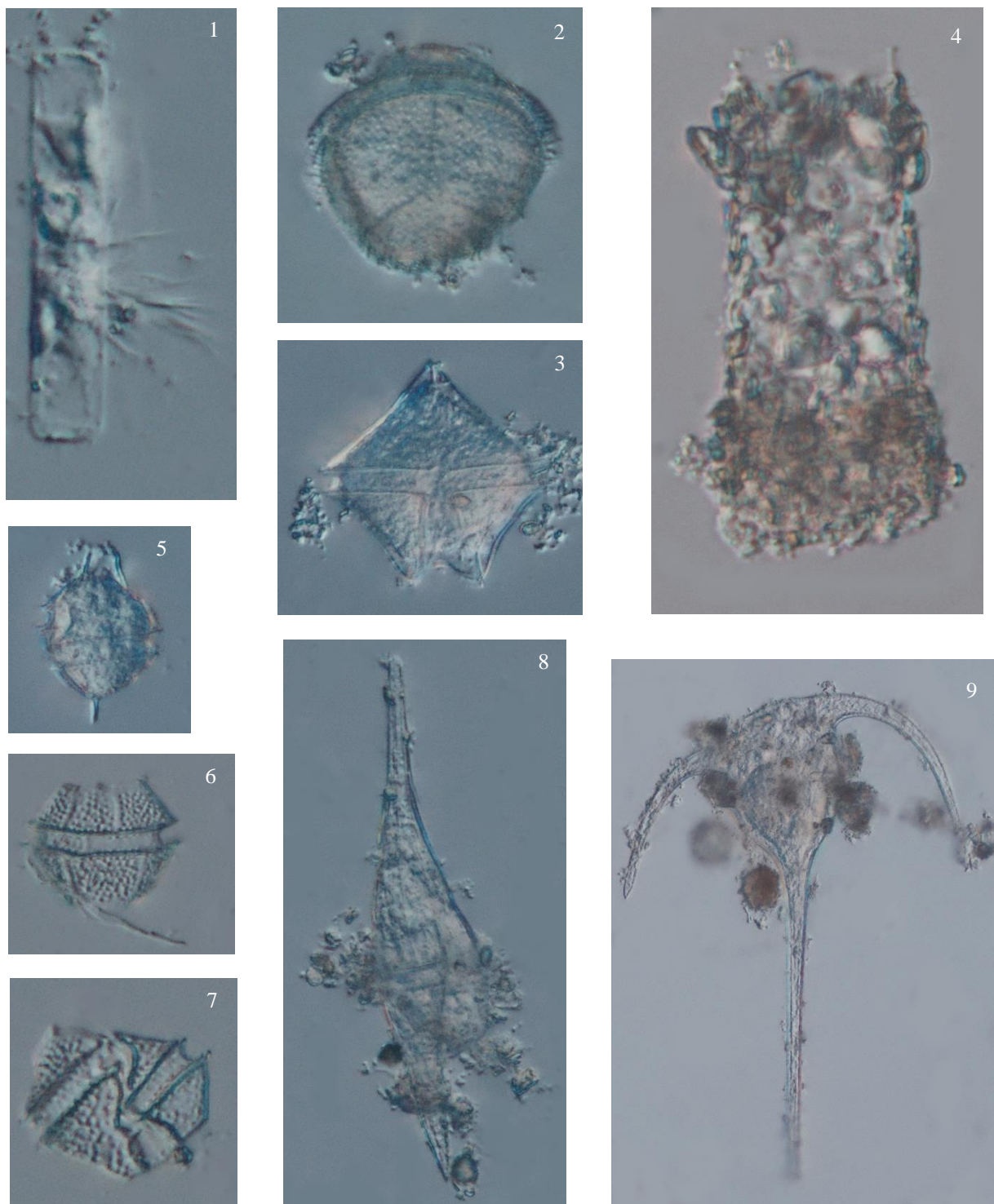


Figura 6. Fotografías a partir de microscopía óptica invertida: 1 (*Guinardia delicatula*), 2 (*Gymnodinium sp.*), 3 (*Protoperidinium divergens*), 4 (*Stenosemella sp.2.*), 5 (*Gonyaulax spinifera*), 6 – 7 (*Gonyaulax sp.*), 8 (*Tripos furca*), 9 (*Tripos longipes*)



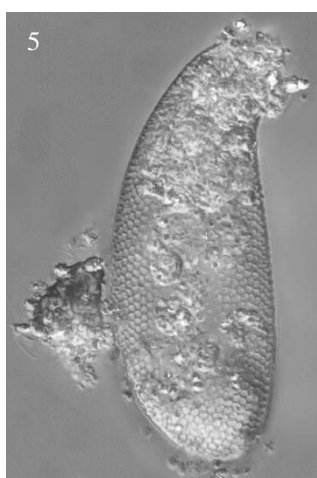
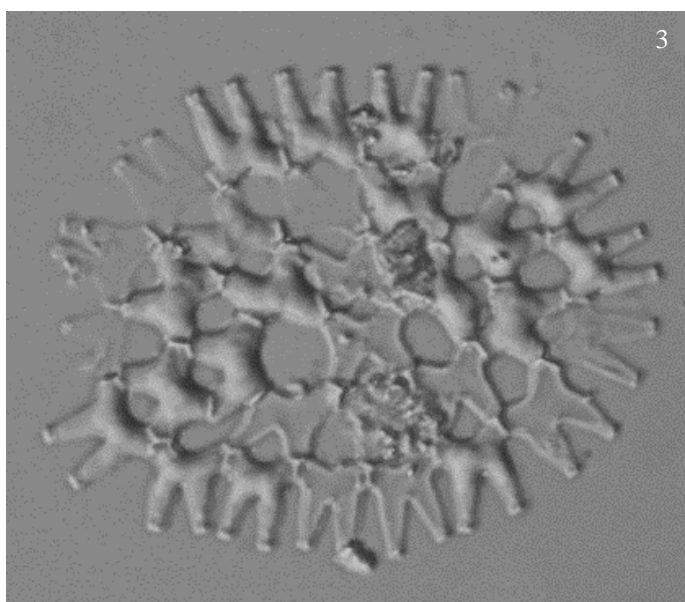
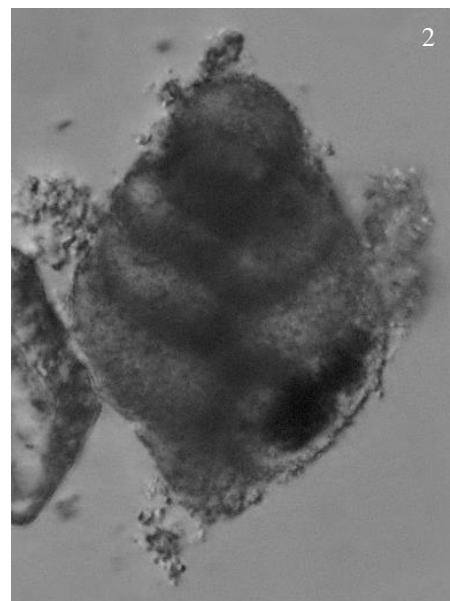
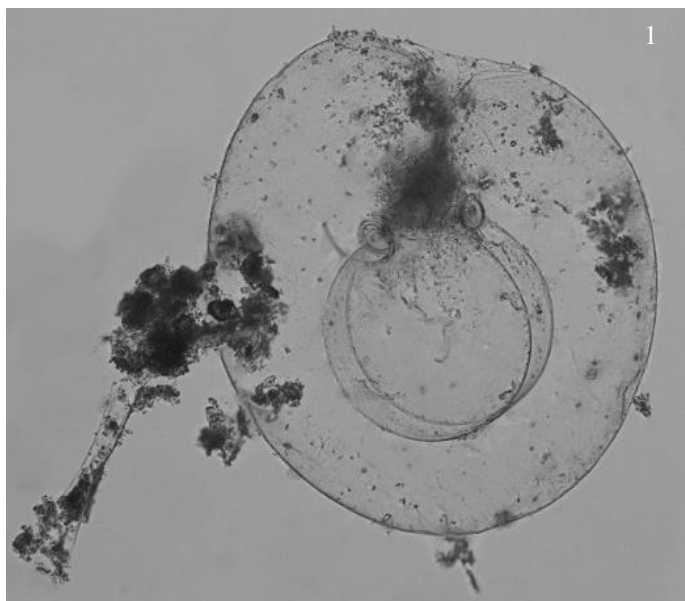


Figura 7. Fotografías a partir de microscopía óptica invertida: 1 (*Noctiluca scintillans*), 2 (*Textularia* sp.), 3 (*Pediastrum duplex*), 4 (*Pediastrum simplex*) 5 (*Messemvriella* cf. *filosa*), 6 (*Chaetoceros* sp.), 7 (*Chaetoceros danicus*), 8 (*Dictyocha fibula*)

## Apéndice B: Relación superficie-volumen (S/V)

Figura 1. Relación superficie – volumen (S/V) determinada al número de individuos (n)  $\pm$  error de las especies identificadas en superficie (S) y fondo (F) de las 4 estaciones a lo largo del gradiente en el estuario. En el caso de las especies para las que sólo se identificó un organismo, no se pudo calcular el error (indicado con el símbolo ‘-’). Los espacios vacíos indican la ausencia de individuos para esa especie en la estación correspondiente

Categoría	St 5				St 15				St 25				St 35			
	Superficie		Fondo		Superficie		Fondo		Superficie		Fondo		Superficie		Fondo	
	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V
<i>Thalassiosira</i> spp.	1333	0,389 $\pm$ 0,058	1743	0,376 $\pm$ 0,070	250	0,381 $\pm$ 0,083	149	0,367 $\pm$ 0,061	355	0,509 $\pm$ 0,125	245	0,402 $\pm$ 0,093	764	0,568 $\pm$ 0,118	29	0,552 $\pm$ 0,108
<i>Pediastrum simplex</i>	55	0,533 $\pm$ 0,190	159	0,463 $\pm$ 0,132	302	0,464 $\pm$ 0,090	248	0,432 $\pm$ 0,088	14	0,143 $\pm$ 0,000	38	0,438 $\pm$ 0,036				
<i>Pediastrum boryanum</i>	47	0,543 $\pm$ 0,025	14	0,455 $\pm$ 6E-17	24	0,649 $\pm$ 0,101										
<i>Tintinnopsis baltica</i>	41	0,224 $\pm$ 0,023	149	0,217 $\pm$ 0,023	111	0,219 $\pm$ 0,028	265	0,215 $\pm$ 0,022			84	0,217 $\pm$ 0,022				
<i>Tintinnopsis</i> sp.	22	0,184 $\pm$ 0,042	38	0,171 $\pm$ 0,033			151	0,173 $\pm$ 0,031			47	0,175 $\pm$ 0,036	337	0,269 $\pm$ 0,042	35	0,229 $\pm$ 0,056
<i>Prorocentrum minimum</i>	10	0,189 $\pm$ 0,035			152	0,211 $\pm$ 0,044	44	0,200 $\pm$ 0,112	72	0,355 $\pm$ 0,060	35	0,203 $\pm$ 0,039				
<i>Stenosemella</i> cf. <i>oliva</i>	8	0,191 $\pm$ 0,022	20	0,159 $\pm$ 0,033	194	0,190 $\pm$ 0,024	261	0,185 $\pm$ 0,021			5	0,164 $\pm$ 0,012				
<i>Surirella</i> sp.	7	0,202 $\pm$ 0,026	6	0,203 $\pm$ 0,029	16	0,208 $\pm$ 0,026	18	0,203 $\pm$ 0,035	4	0,252 $\pm$ 0,092	2	0,224 $\pm$ 0,023				
<i>Tintinnopsis parvula</i>	7	0,153 $\pm$ 0,022			13	0,163 $\pm$ 0,027	212	0,159 $\pm$ 0,020			21	0,150 $\pm$ 0,015				
<i>Tintinnopsis nana</i>	6	0,287 $\pm$ 0,048	5	0,270 $\pm$ 0,033			15	0,248 $\pm$ 0,038			14	0,264 $\pm$ 0,023				
<i>Cerataulus smithii</i>	5	0,219 $\pm$ 0,033	22	0,231 $\pm$ 0,054	27	0,237 $\pm$ 0,056	44	0,214 $\pm$ 0,037	19	0,170 $\pm$ 0,035	56	0,244 $\pm$ 0,055		1	0,211 $\pm$ -	
<i>Dartintinnus</i> sp.	5	0,137 $\pm$ 0,004	27	0,134 $\pm$ 0,015	94	0,137 $\pm$ 0,013	208	0,130 $\pm$ 0,015			82	0,132 $\pm$ 0,012				
<i>Pleursigma</i> sp.	5	0,206 $\pm$ 0,017	10	0,185 $\pm$ 0,038	14	0,232 $\pm$ 0,131	20	0,201 $\pm$ 0,061	2	0,351 $\pm$ 0,025	6	0,205 $\pm$ 0,047	19	0,216 $\pm$ 0,105	20	0,530 $\pm$ 0,397
Otras diatomeas céntricas	4	0,094 $\pm$ -	15	0,138 $\pm$ 0,062	31	0,157 $\pm$ 0,034	51	0,194 $\pm$ 0,052			29	0,196 $\pm$ 0,066	42	0,244 $\pm$ 0,108	28	0,205 $\pm$ 0,048
<i>Nolaclusilis</i> cf. <i>bicornis</i>	3	0,174 $\pm$ 0,042			107	0,171 $\pm$ 0,015	72	0,173 $\pm$ 0,035			1	0,163 $\pm$ -				
<i>Globigerina</i> sp.	2	0,105 $\pm$ 0,053	37	0,175 $\pm$ 0,198	4	0,171 $\pm$ 0,039	21	0,117 $\pm$ 0,040	14	0,176 $\pm$ 0,018	1	0,069 $\pm$ -				
<i>Messemvriella</i> cf. <i>filose</i>	1	0,170 $\pm$ -	2	0,174 $\pm$ 0,012	6	0,363 $\pm$ 0,014	9	0,159 $\pm$ 0,015			1	0,356 $\pm$ -				
<i>Dictyocha fibula</i>	1	0,353 $\pm$ -	2	0,156 $\pm$ 0,048	3	0,249 $\pm$ 0,030	1	0,136 $\pm$ -	1	0,248 $\pm$ -			5	0,194 $\pm$ 0,053		
Diatomea céntrica 2			14	0,131 $\pm$ 0,042			14	0,124 $\pm$ 0,038			13	0,120 $\pm$ 0,039				
<i>Textularia</i> sp.			10	0,128 $\pm$ 0,027			5	0,131 $\pm$ 0,038			11	0,054 $\pm$ 0,014				
<i>Coscinodiscus jonesianus</i>			7	0,209 $\pm$ 0,059	1	0,005 $\pm$ -	3	0,137 $\pm$ 0,037			6	0,157 $\pm$ 0,034	4	0,183 $\pm$ 0,016		
<i>Asteromphalus</i> sp.			6	0,185 $\pm$ 0,048			4	0,267 $\pm$ 0,027			1	0,190 $\pm$ -				
<i>Biddulphia</i> sp.			4	0,119 $\pm$ 0,009	1	0,167 $\pm$ -	7	0,099 $\pm$ 0,012			1	0,078 $\pm$ -				
<i>Planktoniella</i> sp.			1	0,262 $\pm$ -												
<i>Navicula</i> sp.			1	0,134 $\pm$ -	67	0,401 $\pm$ 0,100	5	0,370 $\pm$ 0,084	1	0,254 $\pm$ -			11	0,754 $\pm$ 0,261	5	0,920 $\pm$ 0,702
Otras diatomeas pennadas			1	0,215 $\pm$ -			2	0,232 $\pm$ 0,013					31	0,823 $\pm$ 0,491	6	0,554 $\pm$ 0,187
<i>Tintinnopsis rotundata</i>			1	0,165 $\pm$ -							1	0,117 $\pm$ -				
<i>Tintinnopsis campanula</i>			1	0,164 $\pm$ -							1	0,095 $\pm$ -				
<i>Codonellopsis</i> sp.			1	0,159 $\pm$ -	3	0,174 $\pm$ 0,020	7	0,181 $\pm$ 0,052								
<i>Tintinnopsis levigata</i>			1	0,175 $\pm$ -	58	0,215 $\pm$ 0,032	10	0,168 $\pm$ 0,012			8	0,190 $\pm$ 0,021				
<i>Tintinnopsis lobiancoi</i>			1	0,186 $\pm$ -	49	0,225 $\pm$ 0,039							5	0,115 $\pm$ 0,015		

Continuación Figura 1. Relación superficie – volumen (S/V) determinada al número de individuos (n)  $\pm$  error de las especies identificadas en superficie (S) y fondo (F) de las 4 estaciones a lo largo del gradiente en el estuario. En el caso de las especies para las que sólo se identificó un organismo, no se pudo calcular el error (indicado con el símbolo ‘—’). Los espacios vacíos indican la ausencia de individuos para esa especie en la estación correspondiente

Categoría	St 5				St 15				St 25				St 35			
	Superficie		Fondo		Superficie		Fondo		Superficie		Fondo		Superficie		Fondo	
	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V
<i>Pseudonitzschia</i> sp.					148	1,200 $\pm$ 0,273			2	0,389 $\pm$ 0,127			11	1,295 $\pm$ 0,164	14	1,849 $\pm$ 0,752
<i>Cylindrotheca</i> sp. 1					131	1,176 $\pm$ 0,299	1	1,028 $\pm$ -					20	0,925 $\pm$ 0,282	103	1,353 $\pm$ 0,310
<i>Tintinnopsis</i> sp. 4					91	0,200 $\pm$ 0,047			46	0,215 $\pm$ 0,036						
<i>Nitzschia</i> sp.					69	0,254 $\pm$ 0,056					2	0,473 $\pm$ 0,094			9	1,642 $\pm$ 0,884
Otros dinoflagelados					18	0,231 $\pm$ 0,073	1	0,247 $\pm$ -					64	0,237 $\pm$ 0,063	2	0,194 $\pm$ 0,034
Diatomea céntrica 3					15	0,271 $\pm$ 0,028										
<i>Gymnodinium</i> sp.					13	0,325 $\pm$ 0,055			168	0,330 $\pm$ 0,080	7	0,302 $\pm$ 0,077	605	0,325 $\pm$ 0,083	74	0,312 $\pm$ 0,064
<i>Auliscus</i> sp.					7	0,286 $\pm$ 0,050	1	0,322 $\pm$ -			3	0,278 $\pm$ 0,033				
<i>Codonellopsis</i> sp. 1					3	0,176 $\pm$ 0,010										
<i>Guinardia delicatula</i>					2	0,321 $\pm$ 0,056			10	0,462 $\pm$ 0,101	1	0,430 $\pm$ -	363	0,444 $\pm$ 0,111	1796	0,413 $\pm$ 0,080
<i>Dictyocha speculum</i>					2	0,272 $\pm$ 0,002					1	0,172 $\pm$ -	6	0,198 $\pm$ 0,013	2	0,226 $\pm$ 0,051
<i>Navicula</i> sp. 1					1	0,204 $\pm$ -	4	0,151 $\pm$ 0,018								
<i>Navicula</i> sp. 2					1	0,361 $\pm$ -										
Dinoflagelado 1					1	0,201 $\pm$ -										
Dinoflagelado 2					1	0,118 $\pm$ -										
<i>Stenosemella</i> sp.					1	0,135 $\pm$ -										
<i>Tintinnopsis coronata</i>					1	0,107 $\pm$ -										
<i>Dictyocha octonaria</i>					1	0,195 $\pm$ -			3	0,210 $\pm$ 0,004			115	0,206 $\pm$ 0,026	6	0,185 $\pm$ 0,011
<i>Phacus salina</i>					1	0,168 $\pm$ -										
Ameba tecada 1					2	0,293 $\pm$ 0,049										
Ameba tecada 2					1	0,466 $\pm$ -										
<i>Pediastrum duplex</i>							30	0,397 $\pm$ 0,000								
<i>Tintinnopsis</i> sp. 1							7	0,209 $\pm$ 0,044								
<i>Tintinnopsis</i> sp. 2							3	0,212 $\pm$ 0,019								
<i>Tintinnopsis</i> sp. 3							2	0,191 $\pm$ 0,015								
Diatomea pennada 2							2	0,297 $\pm$ 0,137								
<i>Actinopterychus</i> sp.							2	0,238 $\pm$ 0,017					1	0,140 $\pm$ -		
<i>Odontella mobiliensis</i>							1	0,120 $\pm$ -								
<i>Ceratium furca</i>							1	0,085 $\pm$ -					53	0,100 $\pm$ 0,017		
<i>Chaetoceros</i> sp.									10	0,844 $\pm$ 0,176	1	0,510 $\pm$ -				
<i>Nitzschia</i> sp. 2									10	0,892 $\pm$ 0,278						
<i>Tintinnopsis</i> sp. 5									9	0,125 $\pm$ 0,019						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>									2	1,139 $\pm$ 0,318	2	0,190 $\pm$ 0,141	115	1,081 $\pm$ 0,325	399	1,807 $\pm$ 0,384
<i>Nitzschia</i> sp. 1									2	0,593 $\pm$ 0,027						
<i>Protoperidinium</i> sp.									2	0,183 $\pm$ 0,026			19	0,179 $\pm$ 0,053	7	0,142 $\pm$ 0,036
<i>Tintinnidae</i> sp.									1	0,182 $\pm$ -	3	0,142 $\pm$ 0,008	1	0,175 $\pm$ -	1	0,060 $\pm$ -
Diatomea Céntrica 1									17	0,149 $\pm$ 0,045						

*Continuación Figura 1.* Relación superficie – volumen (S/V) determinada al número de individuos (n)  $\pm$  error de las especies identificadas en superficie (S) y fondo (F) de las 4 estaciones a lo largo del gradiente en el estuario. En el caso de las especies para las que sólo se identificó un organismo, no se pudo calcular el error (indicado con el símbolo ‘-’). Los espacios vacíos indican la ausencia de individuos para esa especie en la estación correspondiente

Categoría	St 5				St 15				St 25				St 35				
	Superficie		Fondo		Superficie		Fondo		Superficie		Fondo		Superficie		Fondo		
	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	n	S/V	
<i>Tintinnopsis</i> sp. 6									4	0,228 ± 0,025							
<i>Tintinnopsis</i> sp. 7									3	0,219 ± 0,012							
<i>Noctiluca</i> sp.									1	0,033 ±	-	18	0,014 ± 0,002		22	0,014 ± 0,002	
<i>Chaetoceros</i> subgénero <i>hyaloceros</i>												132	0,639 ± 0,212		172	0,564 ± 0,160	
<i>Gonyaulax</i> sp.												120	0,167 ± 0,022				
<i>Bacteriastrum</i> sp.												99	0,255 ± 0,066		526	0,270 ± 0,034	
<i>Leptocylinrus minimus</i>												84	1,367 ± 0,296				
<i>Chaetoceros danicus</i>												74	0,502 ± 0,206		93	0,558 ± 0,143	
<i>Cylindrotheca</i> sp.2												65	1,073 ± 0,307				
<i>Odontella sinensis</i>												47	0,018 ± 0,005		61	1,257 ± 0,086	
<i>Gonyaulax</i> cf. <i>spinifera</i>												32	0,030 ± 0,008		6	0,035 ± 0,005	
<i>Chaetoceros</i> subgénero <i>phaeoceros</i>												22	0,502 ± 0,234		70	0,309 ± 0,116	
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>sturmii</i>												17	0,686 ± 0,089				
<i>Paralia sulcata</i>												17	0,498 ± 0,115				
<i>Thalassiosira</i> sp.												15	0,029 ± 0,034		17	0,550 ± 0,029	
Otros ciliados												11	0,242 ± 0,124				
<i>Dactyliosolen blavyanus</i>												11	0,051 ± 0,059		55	0,180 ± 0,032	
<i>Tintinnopsis radix</i>												8	0,121 ± 0,013		1	0,113 ± -	
<i>Proboscía</i> sp.												7	0,307 ± 0,290		7	0,115 ± 0,010	
<i>Coscinodiscus</i> sp.												6	0,029 ± 0,002				
<i>Chaetoceros</i> cf. <i>decipiens</i>												6	0,064 ± 0,021				
<i>Eucampia</i> sp.												5	0,388 ± 0,157		3	0,526 ± 0,070	
<i>Ceratium longipes</i>												5	0,215 ± 0,064				
<i>Guinardia striata</i>												3	0,177 ± 0,010		112	0,071 ± 0,022	
<i>Melosira</i> sp.												3	0,427 ± 0,141				
<i>Poroecus</i> sp.												3	0,109 ± 0,009				
<i>Strombidium</i> sp.												3	0,211 ± 0,144				
<i>Protoperidinium divergens</i>												2	0,137 ± 0,016				
<i>Ditylum brightwellii</i>												2	0,317 ± 0,084				
<i>Pleurosigma fasciola</i>												2	0,084 ± 0,003				
<i>Dactyliosolen</i> sp.															138	0,293 ± 0,049	
<i>Hemiaulus hauckii</i>															38	0,360 ± 0,072	
<i>Guinardia</i> cf. <i>flaccida</i>															14	0,140 ± 0,029	
<i>Coscinodiscus wailesii</i>															5	0,040 ± 0,012	
<i>Eucampia zodiacus</i>															2	0,501 ± 0,031	
<i>Pseudonitzschia seriata</i>															2	1,060 ± 0,071	
<i>Pyocystis</i> spp.															1	0,062 ± -	

Apéndice C: Representación de la comunidad microplanctónica a partir de una ordenación MDS según la abundancia por biomasa

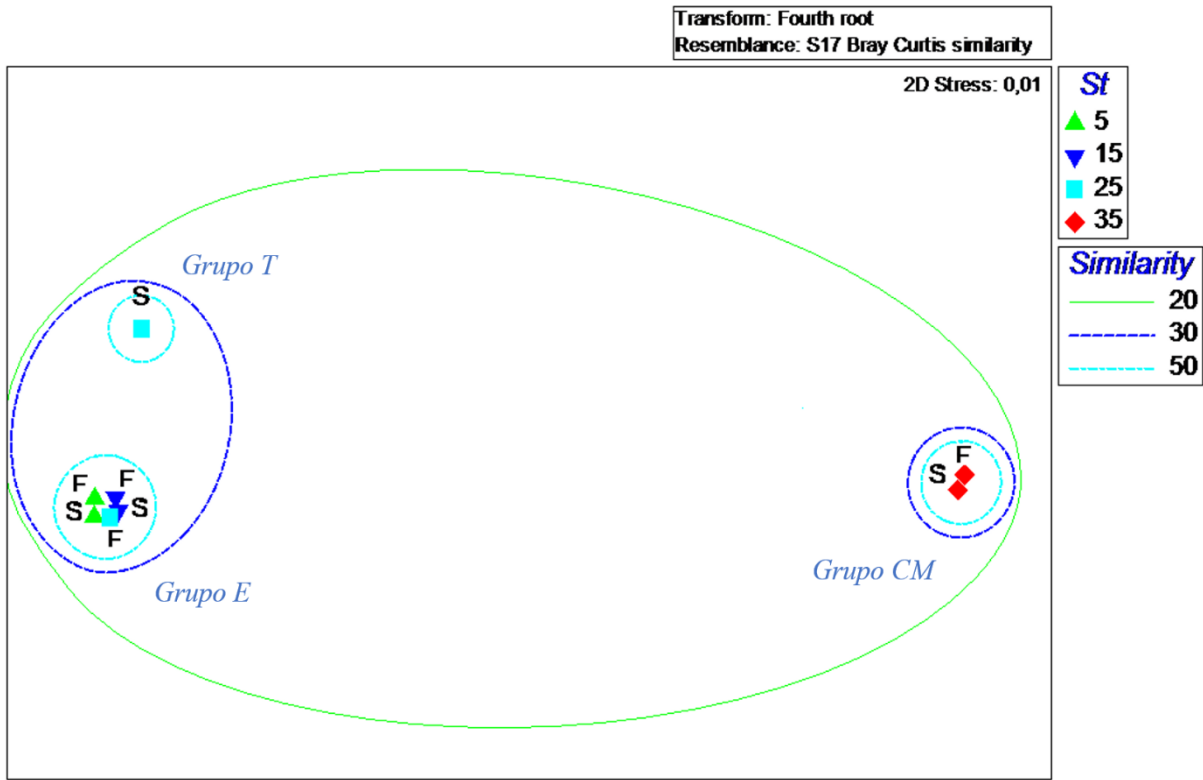


Figura 1. Análisis de similitud al 20%, 30% y 50% en función de la biomasa para superficie (S) y fondo (F) en las cuatro estaciones